

参 考 資 料

新 技 術 研 究 開 発 組 合

丸栄コンクリート工業(株)
(株)クロスアビリティ
研究機関：三重大学

－ 目 次 －

1. 技術的問題点に対する研究成果一覧表	1
2. 技術的問題点に対する研究成果（論文 1 ～ 1 2）. . .	2
3. 空中超音波粗度係数計測機 取扱説明書	4 6

■ 技術的問題点に対する研究成果一覧表

番号	実施年度	技術的 問題点	研究項目	題名	発表・投稿先	ページ
論文1	平成26年度	研究開発①	2眼センサ有効性	空中超音波を用いたコンクリート面の粗さ測定	H26 農業農村工学会大会講演会講演要旨集	2
論文2	平成26年度	研究開発④	センサ選択	空中超音波によるコンクリート表面粗さ測定の送信・受信素子数による比較検討	H27 農業農村工学会大会講演会講演要旨集	4
論文3	平成26年度	研究開発②	1眼センサ有効性	MEASUREMENT OF THE ARITHMETICAL MEAN ROUGHNESS OF THE CONCRETE SURFACE BY THE TRANSCIEVER TYPE AERIAL ULTRASONIC SENSOR	Fifth International Conference on Geotechnique	6
論文4	平成26年度	研究開発⑦	1眼センサ範囲	空中超音波を用いたコンクリート面の粗さ測定	超音波techno	12
論文5	平成26年度	研究開発⑤	理論的考察	空中超音波の最大振幅によるコンクリート面の粗さ計測	農業農村工学会論文集No. 303	17
論文6	平成27年度	実証実験②	ホーンの有効性	Effects of Hand Made Plastic Horn to measure the Arithmetic Mean Roughness of Concrete surface by Transceiver Type Aerial Ultrasonic Sensor	The 15th PAWEES Conference	25
論文7	平成27年度	実証実験③	風速検討	空中超音波センサによる農業用水路コンクリート表面粗さ測定における風速による測定結果への影響	H28農業農村工学会大会講演会講演要旨集	31
論文8	平成27年度	実証実験③	風速検討	Effect of Wind Velocity for Measuring the Concrete Surface Roughness of Irrigation Canal by Aerial Ultrasonic Sensor	International Conference on Engineering and Natural Science	33
論文9	平成27年度	研究開発⑦	水路実験	水理模型実験による空中超音波センサを用いた粗度係数の推定	H28農業農村工学会大会講演会講演要旨集	38
論文10	平成28年度	研究開発⑥	温度検討	空気吸収減衰が空中超音波粗さ測定に与える影響	H29農業農村工学会大会講演会講演要旨集	40
論文11	平成28年度	研究開発⑧	粗度係数との関係	空中超音波による開水路の粗度係数測定方法に関する基礎式の提案について	H27 農業農村工学会大会講演会講演要旨集	42
論文12	平成28年度	実証実験①	堆積した水路	空中超音波法による供用中の農業用水路の粗度係数計測の実用化に向けて	H29農業農村工学会大会講演会講演要旨集	44

※上記、技術的問題点は、研究成果報告書内「1. 2 事業の内容及び実施方法(1)(3)」の項目に該当します。

空中超音波を用いたコンクリート面の粗さ測定 Measurement of roughness of concrete surface using airborne ultrasound

○長岡 誠也, 多湖 優汰, 岡島 賢治, 石黒 覚
NAGAOKA Seiya, TAGO Yuta, OKAJIMA Kenji, ISHIGURO Satoru

1. はじめに

コンクリート水路の補修では、通水性能の低下が補修要因に挙げられることが多い。実際、東海農政局管内で平成 13 年から 22 年までに行われた水路補修工事の 8 水路の事例のうち 6 水路において通水性能が要求性能を満たしていないという理由で補修している。しかしながら、通水性能は定量計測されておらず目視調査に依っているのが現状である。

水路の凹凸による通水性能の低下を定量的に検討した事例は少なく、中矢ら（2008）が摩耗による凹凸を算術平均粗さで表し、算術平均粗さ Ra とマンシングの粗度係数との関係式を提案している。また、この算術平均粗さは、レーザー変位計(内田ら, 2008)や 3D カメラ(長谷川ら, 2011)により計測されている。しかし、算術平均粗さを求めるのに時間とお金がかかるのが問題となっている。そのため、面的な情報をより安価で簡便な手法で測定する技術が望まれている。

本研究では、安価で簡便に計測できる空中超音波を用いて算術平均粗さを計測する手法を開発することを目的とした。

2. 測定原理と測定項目

空中超音波によるコンクリート壁面の粗さ測定法の原理を図 1 に示す。図 1 は粗さの異なる 2 つの面に対し空中超音波を発信すると、滑らかな面に対し、粗い面では超音波が乱反射し超音波の最大振幅が低下する様子を表している。本研究では、この最大振幅の低下量と算術平均粗さ Ra との関係を検討した。

検討項目として、(1) 粗さの異なる面での

最大振幅の測定、測定距離と最大振幅の関係、(2) 測定範囲の検証の 2 点を検討した。本研究では、最大振幅は 10 回程度の平均値を取った。(1)では、 Ra が 0.052mm から 1.1mm の間で 12 箇所を選定し、高さを 0.55m, 1m, 1.5m で測定を行い、比較した。(2)では、粒径の異なる 3 種類の砂利を用いて測定範囲の直径を変えることで、測定範囲を明らかにした。

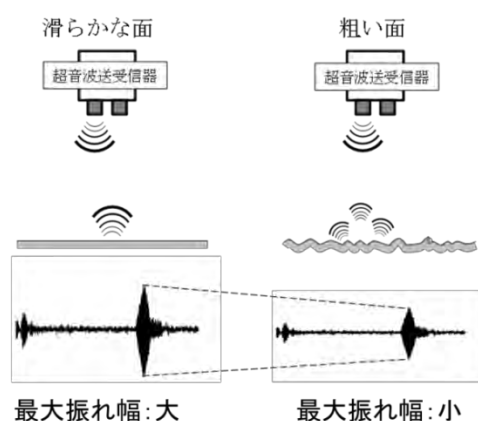


図1 空中超音波による粗さ測定原理

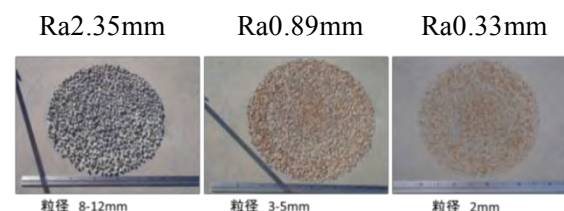


写真1 検討項目(2)で使用した砂利

3. 空中超音波測定器

本研究で使用した空中超音波センサは発信器・受信器として日本セラミック（株）製 T/R40-16（直径 16.2mm 高さ 12.2mm）を使用した。通常空中超音波は周波数が高くなるほど空気中での減衰が大きくなる。このため

本研究では、比較的低い 40kHz の周波数のセンサを使用した。本研究で使用したセンサの指向角は 50 度である。発信超音波はセンサに 9V の電圧を 42kHz で 5 回印加させて発信した。受信した反射超音波はオペアンプ NJM4580 で $1\text{M}\Omega/10\text{k}\Omega$ の反転増幅により 100 倍した値をデジタルオシロスコープ (Tektronix TBS1152) で印加電圧とともに測定した。測定間隔は 1μ 秒間隔で測定した。

4. 実験結果および考察

(1) 最大振れ幅と算術平均粗さの関係は図 2 のような曲線近似となった。高さ 1m では $R^2 = 0.939$ となり、高い相関性があると言える。また、コンクリート構造物の耐用年数のときの Ra の平均は約 0.7mm であるので、高さ 1m からの計測で最大振れ幅が 530mV 程度より小さくなったときに補修を検討するとよいと考えられる。図 3 にあるように高さを 0.55m から 1.5m の範囲で変えた場合でも、 R^2 値が 0.7~0.9 程度で定量的な粗さの測定が可能であることが分かった。

(2) 図 4 に測定範囲の検証結果を示す。図 4 より、直径 0~60cm までは徐々に値が下がっていき、直径 60cm 以降は最大振れ幅が安定していることが分かる。これより、1m の高さからの計測では、直径 60cm までの範囲の粗さを計測できると考えられる。また、本研究で使用したセンサの指向角 50 度は 1m の高さで直径 93cm であるので、実際の測定範囲はカタログの指向角よりも狭い範囲を測定していることが分かった。

5. まとめ

摩耗した水路壁の粗さの定量的な測定法として、空中超音波の最大振れ幅が有効であることが確認された。測定は 0.55m から 1.5m の距離まで行うことができ、距離が 1m の場合は測定範囲が直径 60cm 程度になることが分かった。コンクリート構造物の耐用年数は 40 年であり、Ra の平均は 0.7mm となる。このとき、距離が 1m で最大振れ幅が 530mV

程度になることが分かった。

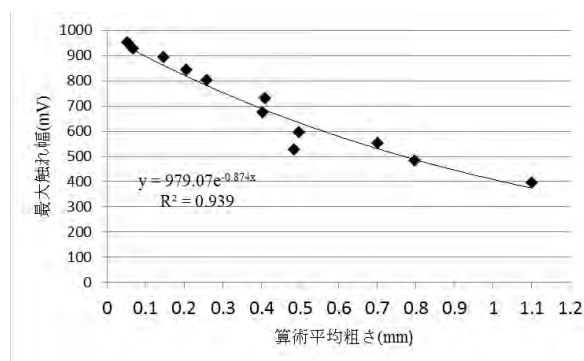


図 2 高さ 1m の最大振れ幅と算術平均粗さの関係

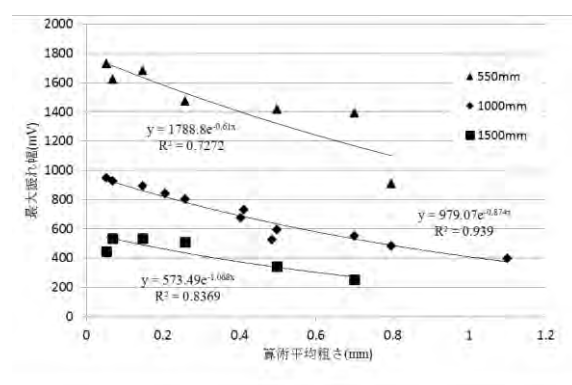


図 3 最大振れ幅と算術平均粗さの関係

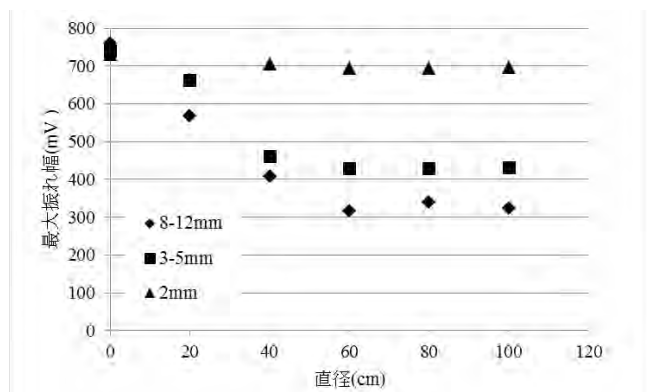


図 4 測定範囲の検証

参考文献

- 中矢ら(2008) 摩耗したコンクリート水路の表層形状からの粗度係数推定手法 農業農村工学会論文集第258号pp501-506
- 内田ら(2008) コンクリート開水路の表面形状測定による粗度係数の評価 農業農村工学会全国大会講演要旨集 pp432-433
- 長谷川ら(2011) コンクリート水路の表面粗さの評価に関する基礎的研究 農業農村工学会全国大会講演要旨集 pp.756-757

空中超音波によるコンクリート表面粗さ測定の送信・受信素子数による比較検討
Comparison of transmitter and receiver types in measurement of the concrete surface roughness by the aerial ultrasonic sensor.

○長岡 誠也, 岡島 賢治, 石黒 覚, 小古 貴晃

NAGAOKA Seiya, OKAJIMA Kenji, ISHIGURO Satoru, KOFURU Takaaki

1 はじめに

農業用水路では摩耗劣化が主な補修要因として挙げられる。水路の特徴として延長距離が長いこと、調査において簡易で・面的な測定法が不可欠であると考えられる。そこで、長岡ら(2014)が簡易で面的な測定が可能な空中超音波測定の提案した。空中超音波は粗さ面に対して波が乱反射し、最大触れ幅が減衰する特徴を有する。これまでの研究では空中超音波センサにT/R40-16(2つ眼)を用いて、基礎的な研究を行った。しかし、送信・受信素子の数は一般的に2種類あり、送信と受信の素子が分離したタイプ(以後2つ眼とする)と、送信と受信の素子が一体となったタイプ(以後1つ眼とする)が存在する。センサの小型化などを意識すると、1つ眼の使用も視野に入れる必要がある。本研究では空中超音波によるコンクリート表面粗さ測定の送信・受信素子数による比較検討を目的とした。

2 本研究で用いた空中超音波センサ

図1, 2に本研究で用いたセンサを示す。周波数は測定距離に0.5~2.0mの確保が必要であるため、空中での減衰の少ない40kHz程度を採用した。センサカバーの有無はセンサ使用時に濡れない事を制限し、感度の良い開放型を採用した。以上を考慮し、2つ眼、1つ眼のセンサを選定した。



T/R40-16(日本セラミック(株))

図1 2つ眼



LV-Maxsonar-EZ1(Maxbotic 社)

図2 1つ眼

3 実験概要と実験結果

すべての実験で測定距離は1mから測定面に空中超音波を照射し、オシロスコープにより反射波の最大触れ幅(mv)・波形を取得した。最大触れ幅は15回平均の値を用いた。測定距離はセンサ面から法線方向の距離と定義した。

3.1 ①粗さ面測定への適用

2つ眼、1つ眼それぞれのセンサについて三重大学校内のコンクリート面で算術平均粗さ0, 0.4, 0.7mm程度を測定面として選定した。センサ法線と測定面は垂直とし、最大触れ幅を測定する実験を行った。

図3より1つ眼、2つ眼は粗さ面に対して、同程度の減衰を示した。したがって、粗さ面への適用は同程度であると考えられる。今後、1つ眼での最大触れ幅と算術平均粗さの関係式を明らかにする必要がある。

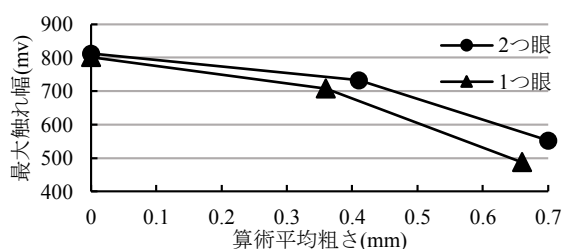


図3 粗さ面測定への適用

3.2 ②センサ測定範囲

測定面は滑面を選定し、粒径2mmの砂利をセンサ直下から同心円状に直径を広げる実験を行った。センサ法線と測定面は垂直とした。測定範囲内で最大触れ幅の減衰量に対するその範囲での減衰量の割合を寄与率と定義した。

図4より最大触れ幅は直径60cmまで減少し、

直径 60cm 以降では一定となった。直径 60cm までの範囲では粗さ面の増加によって、最大触れ幅は減衰し、直径 60cm 以降は測定に影響していないことを示している。このことから、測定範囲は直径 60cm 程度であった。また、2 つのセンサでは共に直径 20cm 程度の範囲が約 70% の寄与率を示した。

3. 3 ③センサ法線と測定面のなす角が及ぼす影響

測定時はセンサが水路壁面と垂直であることが望ましいが、屋外で測定する場合厳密に水路壁面との垂直を保つことは難しい。そのため、センサ法線と測定面との間になす角が生じ、最大触れ幅が減衰すると想定される。そこで、センサ法線と測定面のなす角と最大触れ幅の関係を明らかにする実験を行った。

2 つ眼では図 5 より x 軸を素子に平行とし、原点を素子外枠の中心とした。回転は x, y, z の 3 つを軸とした正・負の回転が考えられる。z 軸が測定面に垂直であるとき、z 軸回転では測定面とのなす角は発生しない。x 軸回転では回転によりそれぞれの素子から測定面までの距離は変わらないため、正の回転、負の回転を同等のものとみなすことができる。y 軸回転では正・負の回転で送信素子と受信素子の上下が入れ替わり、それぞれの素子と測定面との測定距離に違いが生じ、測定結果への影響が想定される。以上より、①x 軸回り、②y 軸回り(送信下)、③y 軸回り(送信上)と設定した。1 つ眼では回転軸の違いによる測定への影響はなく、常にセンサ法線と測定面との最小のなす角がセンサ法線と測定面のなす角となる。

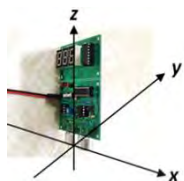


図 5 回転軸の設定

実験結果の近似式が角度補正式となる。2 つ眼では図 6 より R^2 乗値 0.86~0.97 と高い値となった。しかし、回転による最大触れ幅の減衰は異なり、線形近似式の傾きにばらつきがある。x 軸および y 軸の 2 軸に合わせた角度補正が必要となることがわかった。1 つ眼では、0~3° の

範囲において最大触れ幅の減衰は少なく、測定結果の標準偏差の範囲内である。したがって、なす角 1, 2, 3° は角度補正の必要はない。3~5° の範囲では R^2 乗値 0.998 と高い相関での角度補正が可能である。

4 まとめ

①粗さ面測定への適用/同程度の測定精度である可能性を示した。②センサ測定範囲/同程度の測定範囲である。測定範囲は直径 60cm 程度。直径 20cm 程度における寄与率は約 70% である。③センサ法線と測定面のなす角が及ぼす影響/同程度の高い相関がある。2 つ眼では回転軸に合わせた角度補正が必要である。1 つ眼では 1, 2, 3° の傾きは角度補正する必要がある。

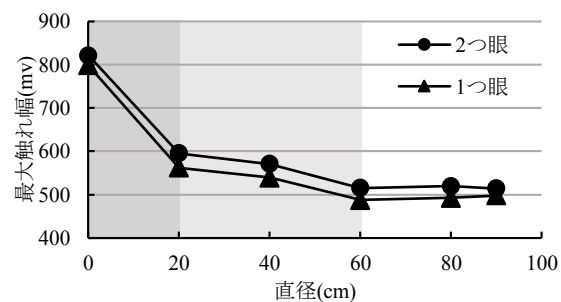


図 4 測定範囲の検討

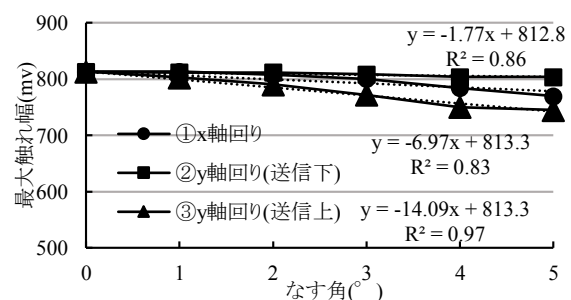


図 6 2 つ眼：なす角と最大触れ幅の関係

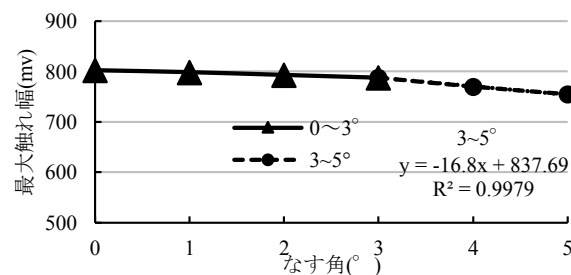


図 7 1 つ眼：なす角と最大触れ幅の関係

参考文献 1) 長岡ら(2014)：空中超音波を用いたコンクリート面の粗さ測定法の開発，農業農村工学会大会講演会講演要旨集，p7-13

MEASUREMENT OF THE ARITHMETICAL MEAN ROUGHNESS OF THE CONCRETE SURFACE BY THE TRANSCIEVER TYPE AERIAL ULTRASONIC SENSOR

NAGAOKA Seiya*, OKAJIMA Kenji*, ISHIGURO Satoru*, ITO Ryouei*, WATANABE Ken** and ITO Tesu***

*Graduate school of Bioresources, Mie University, 1577 Machiyacho, Kurima, Tsu, Mie 514-8507, JAPAN

**Maruei concrete industry Co., Ltd., 1518 Majima, Fukujyu-machi, Gifu 501-6293, JAPAN

***X-ability Co., Ltd., 4-15 Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo 113-0033, JAPAN

ABSTRACT

In the hydraulic performance malfunction of the concrete agriculture irrigation canal the roughness coefficient is assumed one of the evaluation criteria. The arithmetical mean roughness of the concrete surface is applied to the estimate of the roughness coefficient. In this study, we suggested the measurement method of the roughness of the concrete surface using the aerial ultrasonic wave of the transceiver type. We examined the influence of the dispersion of measured values, relations between the arithmetical mean roughness and the peak to peak value of the reflection wave, influence of wet and dry of concrete surfaces and the verification about the measurement rang. As a result, following became clear. The peak to peak value of reflection wave could estimate arithmetical mean roughness well. In addition, the arithmetic average of 15 times measurement values was sufficient accuracy. The peak to peak value of the reflection wave was little affected under wet condition. The aerial ultrasonic wave measured the diameter in the approximately range 600(mm) from distance of 1000(mm). The aerial ultrasonic wave measured the diameter in the approximately range 300(mm) from distance of 550(mm).

Keywords: aerial ultrasonic, peak to peak value, Arithmetical mean roughness, Hydraulic performance, Functional diagnostic

1. INTRODUCTION

Japan has possessed main concrete agriculture irrigation canals that have total length of 49,239km. These were constructed since 1954-1973 of the high economy growth. When canals became too old for work, they were necessary to be repaired. Especially, the hydraulic performance malfunction is used it as the repair factor. However, visual inspection is often used in the general maintenance of the roughness of the canal. Some canals managers want to assess quantitative of the roughness of the concrete surface of the canal quantitative. Since main concrete agriculture irrigation canals have enormous length, the method is required of quantitative assessment that is simple, short time and economical.

The hydraulic performance malfunction of the concrete agriculture irrigation canal the roughness coefficient is assumed one of the evaluation criteria. However, the simple, short time and economical measurement of the roughness coefficient is difficult. The arithmetical mean roughness of the concrete surface is applied to the estimate of the roughness coefficient. Over the years, considerable attention has been paid to the study of measurement of the arithmetical mean roughness. The first attempt to

assess the roughness of the concrete surface of the canals was made by reference [7]. Reference [7] suggested using the moulage gauge in the measurement of the arithmetical mean roughness. This method is the simple measurement, since managers only pushes the moulage gauge to the concrete surface. However, managers need complication analysis that read displacement from one by one the moulage gauge. Reference [5] suggested using the laser displacement sensor in the measurement of the arithmetical mean roughness. Measurement range of this method is line information of the concrete surface. Reference [4] suggested using the three dimensional image processing in the measurement of the arithmetical mean roughness. Measurement range of this method is line information without three dimensional image of the concrete surface. However, these method is not used in the general maintenance of the roughness of the canal. Since the agriculture irrigation canals is long total extension distance, managers request measurement of wide range.

In this study, we attempted using the aerial ultrasonic wave of the transceiver type in the measurement of the arithmetical mean roughness. The wave of the aerial ultrasonic wave has

characteristic of spreading wide. Experiment date was acquired by the oscilloscope. In addition, measurement interval is 25 times per second. This method can have potential of the simple, short time and economical quantitative assessment.

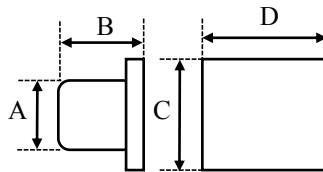
In this study, first, we examined of the dispersion of the measurement value. Next, we examined relation between the peak to peak value and the arithmetic mean roughness. Next, we examined the influence of wet and dry of concrete surfaces. Last, we verified the measurement range.

2. THE MEASUREMENT EQUIPMENT

We used LZ-EZ1 (MaxBotic, Inc) as the aerial ultrasonic sensor of transceiver type. We selected a frequency from relationship of attenuation in the air. Since ultrasonic waves higher 80kHz in frequency attenuates from distance of 2000(mm) and ultrasonic wave of the lower 20kHz in frequency may become the audible range, we selected about the 40kHz. The ultrasonic wave of 40kHz can measure from distance of 500~2000(mm) without attenuation. Next, we compared the open type (the sensitivity: min. -80.5dB) and the waterproof type (the sensitivity: min. -58.2dB) in sensitivity. The open type has 13 times higher sensitivity than the waterproof type at each output voltage. So, we selected the open type. But measurement of the aerial ultrasonic wave must limit not to get wet. Other specification shows table.1. Experiment date of the peak to peak value was acquired by the digital oscilloscope TBS1152 (Tektronix, Inc).

Table 1 Specification the aerial ultrasonic transducer of transceiver type

frequency		42	KHz
dimension	A	16.4	mm
	B	15.5	
	C	19.9	
	D	22.1	
weight		4.3	grams



3. THE MEASUREMENT PRINCIPLE

Figure4 shows the measurement principle of measurement of the arithmetic mean roughness of the concrete surface by the aerial ultrasonic wave of transceiver type. The wave of the aerial ultrasonic wave is reflected by the concrete surface. The reflection wave was diffusely reflected by the roughness of the concrete surface. We evaluated amount of the reflection wave with the peak to peak value. The peak to peak value is difference between the maximum value and the minimum value of the reflection wave value.

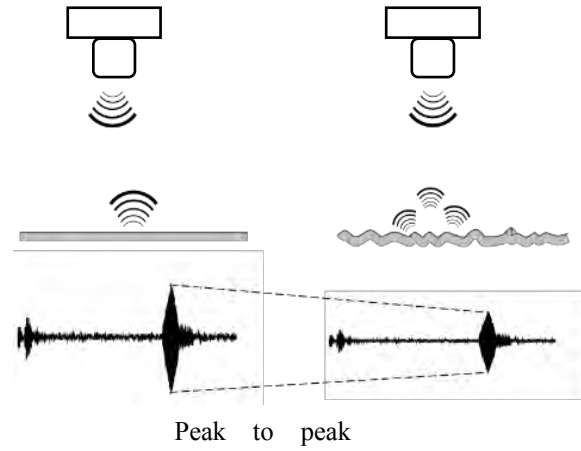


Figure 1 The measurement principle

4. ARITHMETIC MEAN ROUGHNESS

4.1 The Moulage Gauge and Determination

In this study the arithmetic mean roughness was measured by the moulage gauge. The length of the moulage gauge is 147(mm). The number of steel sticks is 183. Measurement interval is 0.8(mm). Figure2 shows the measurement surface of the arithmetic mean roughness 0.30(mm).

Figure3 shows the image of the arithmetic mean roughness. The formula $f(x)$ is the roughness curve of the concrete surface. The formula $Y(x)$ is liner approximation that is calculated from the roughness curve.

R_a is calculated by ration between the integral value of $|f(x) - Y(x)|$ and the length of the moulage gauge.

$$R_a = \frac{1}{l} \int_0^l |f(x) - Y(x)| dx \quad (1)$$

R_a : The arithmetic mean roughness

$f(x)$: The roughness curve

$Y(x)$: The Formula of liner approximation

l : The length of the moulage gauge



Figure 2 The measurement surface of the arithmetic mean roughness in 0.30(mm)

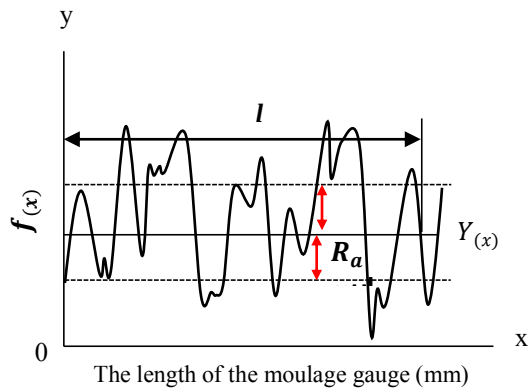


Figure 3 The image of the arithmetic mean roughness

4.2 Selected Measurement Surface

Reference [7] indicated the relationship between the arithmetical mean roughness and the number of years of the agriculture irrigation canals. The agriculture irrigation canal used 40 years, the arithmetical mean roughness becomes approximately 0.7(mm). We were selected in consideration of soundness of the canal. Table 2 shows examination items and the arithmetical mean roughness.

Table 2 examination items and the arithmetical mean roughness

Ra (mm)	Dispersion	Application	Wet
0.00		○	
0.30	○	○	○
0.37		○	
0.45	○	○	○
0.67		○	

5. EXAMINATION ITEM

5.1 The Dispersion of The Measurement Value

Measurement of the aerial ultrasonic wave has the dispersion of the measurement value. Therefore, the dispersion of the measurement value needs to be decreased by the average of times. This experiment of purpose that decides the average of times of the measurement value.

We measured the peak to peak value. We measured 119 times. We got 100 sample of the moving average of 1~20 times. We evaluated ration between the standard deviation and the mean value of the moving average. The aerial ultrasonic measured from distance of 1000(mm) and 550(mm).

Figure 4 indicated that the dispersion of the measurement value decreased so that the arithmetic average increased. The dispersion of the measurement value in 550(mm) tended to be larger than in 1000(mm). However, the arithmetic average of 15 times restrained the dispersion of the measurement value in 550(mm) and 1000(mm). The 15 times of average of measurement value is sufficient accuracy. In this study measurement value defines it as the average of 15 times.

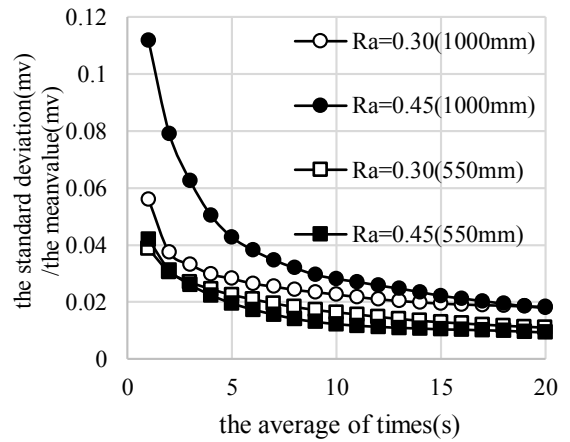


Figure 4 The dispersion of the measurement value

5.2 The Application of Measurement of The Arithmetical Mean Roughness

We measured the peak to peak value. The aerial ultrasonic measured from distance of 1000(mm). We measured five concrete surfaces that is 0.00~0.67 (mm) in the arithmetical mean roughness.

It is clear from figure 5 that the peak to peak value was decreased with increasing the arithmetical mean roughness. In addition the formula of liner approximation had high correlational relationship. The formula of liner approximation is used to

estimate the arithmetic mean roughness from the peak to peak. Measurement of the transceiver type aerial ultrasonic wave can estimate the arithmetical mean roughness well.

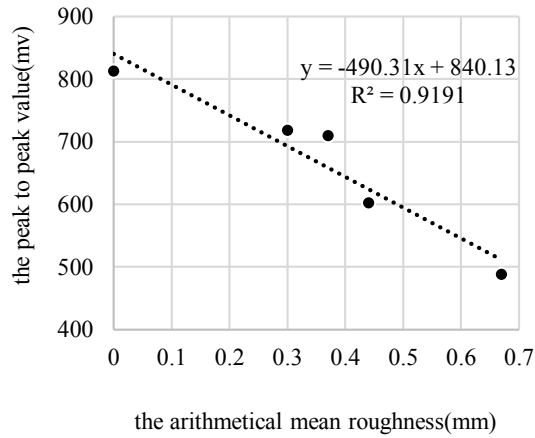


Figure 5 The relationship between the peak to peak value and the arithmetical mean roughness

5.3 Influence of Wet and Dry of Concrete Surfaces

When managers measure agriculture irrigation canals, we expected that many canals can be wet condition of the concrete surface. We evaluated the effect of the measurement value by the concrete surface condition. We compared and examined the measurement value of wet and dry of concrete surfaces.

When we reproduced wet condition of the concrete surface, we noted to be water pocket in the roughness depression. The aerial ultrasonic measured from distance of 1000(mm).

Table3 shows the measurement value of wet and dry of concrete surfaces. The measurement value of wet was a little larger than dry. We were able to guess that water filled the roughness depression of the concrete surface. Therefore, the arithmetic mean roughness was decreased. However, figure3 indicates that the standard deviation of the arithmetic average of 15 times from distance 1000(mm) was ± 15.7 (mv). Since the difference of the measurement value was within the range of the standard deviation, we concluded that whether wet or dry of concrete surfaces do not have influence the measurement value. Fig6 shows reflected waveforms from wet and dry of concrete surfaces. Waveforms were not different from wet and dry. Here those can be seen that the peak to peak value of the reflection wave was little affected under wet condition.

Table 3 The Measurement value of wet and dry

	wet (mv)	dry
Ra=0.30 (mm)	717.6	704.4
Ra=0.45	601.5	590.1

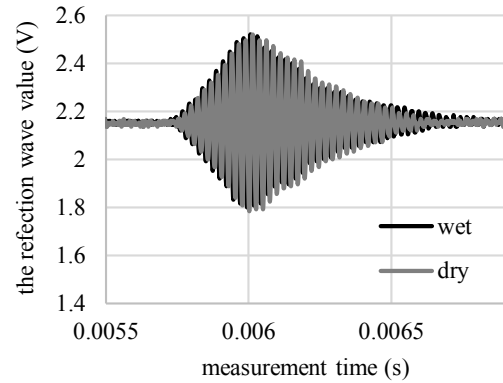


Figure 6 Reflected waveforms from wet and dry of concrete surfaces in Ra=0.30(mm)

5.4 The Verification of The Measurement Range

Measurement of the aerial ultrasonic can measure the wide range. However, the measurement range that has inference on the measurement value is uncertain. To calculate the correct measurement range is almost impossible. The purpose is to clarify the measurement range that has inference on the measurement value.

Figure7 shows the experiment principle. We examined measurement range by widening diameter of the grave on the flat board. The flat board is 0.00(mm) in the arithmetic mean roughness. The grave of particle size is 2mm. Figure8 shows the used grave. The aerial ultrasonic measured from distance of 1000(mm) and 550(mm).

Figure9 and 10 indicate that the peak to peak value was decreased with widening diameter of the grave. Figure9 shows the relationship between peak to peak value and diameter of grave from distance of 1000(mm). When the grave diameter is 200(mm), the peak to peak was largely decreased. When the grave diameter is 200~400(mm), the peak to peak was few decreased. After 600(mm) in diameter of the grave, the peak to peak was not changed. Since 600(mm) in diameter of the grave presumably exceed measurement range, the upper limit of the measurement range is approximately 600(mm) in diameter.

Figure10 The relationship between peak to peak value and diameter of grave from distance of 550(mm). When the grave diameter is 200(mm), the peak to peak was largely decreased. When the grave diameter is 200~300(mm), the peak to peak was few decreased. After 300(mm) in diameter of the grave, the peak to peak was not changed. Since 300(mm) in

diameter of the grave presumably exceed measurement range, the upper limit of the measurement range is approximately 300(mm) in diameter.

The dominant range of measurement is approximately 200(m) in diameter from distance of 550~1000(mm). The measurement range was large in proportion to the measurement range and in proportion to square of the measurement distance

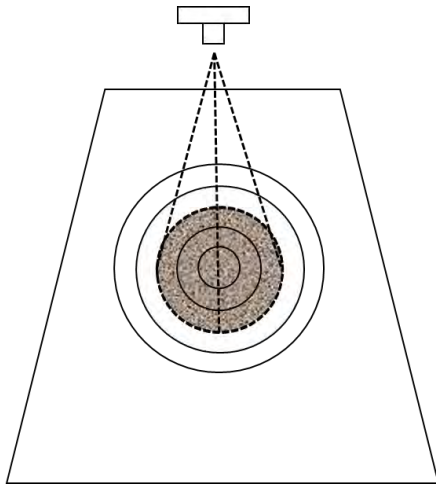


Figure 7 The basic form of the measurement



Figure 8 The used grave

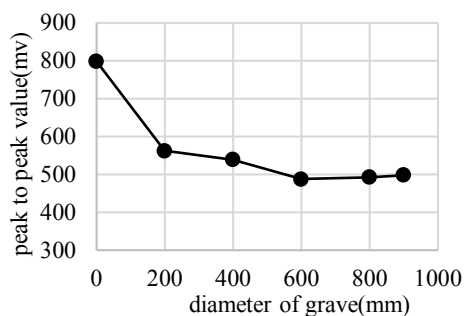


Figure 9 The relationship between peak to peak value and diameter of grave from distance of 1000(mm)

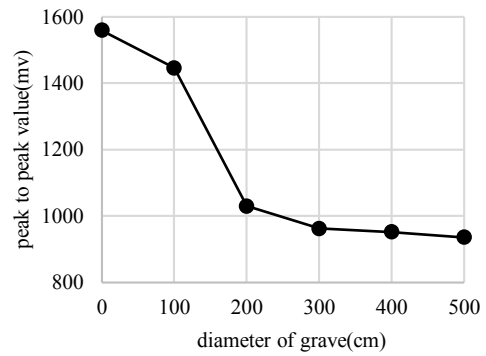


Figure 10 The relationship between peak to peak value and diameter of grave from distance of 550(mm)

6 CONCLUSION

We examined influence of the dispersion of the measurement values, relation between the arithmetical mean roughness and the peak to peak value of the reflection wave, influence of wet and dry concrete surfaces and the verification of the measurement rang. As a result, following became clear. The peak to peak value of the reflection wave could estimate the arithmetical mean roughness well. The average of 15 times of measurement values were sufficient accuracy. The peak to peak value of the reflection wave was little affected under dry condition. The aerial ultrasonic wave measured the diameter in the approximately range 600(mm) from distance of 1000(mm). The aerial ultrasonic wave measured the diameter in the approximately range 300(mm) from distance of 550(mm). The dominant range of measurement was 200(m) in diameter from distance of 550~1000(mm). Measurement range was large in proportion to measurement range and in proportion to square of the measurement distance.

The results of this study reveal that measurement of the arithmetical mean roughness of the concrete surface can using the aerial ultrasonic sensor of transceiver type.

It remains a challenge for future research to verification of the measurement in various weather such as temperature and wind velocity, and measurement of the canal on field.

ACKNOWLEDGEMENTS

This study is funded by the Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries.

REFERENCES

- [1] Horiguchi K, "Wear of concrete-The state of the Art-", Concrete Journal, Vol. 31, No.10, pp. 17~22, Oct. 1993.
- [2] Kitamura K, Honma S and Kato T, "Quantitative Evaluation for Forecast of

- Irrigation Canal Abrasion”, J of Water, Land and Environmental Engineering , Vol 76, No. 9, pp. 823~828, Sep. 2008
- [3] Uchida K, Ishida M and Ogawa S, “Estimation of the Coefficient of Roughness for Irrigation Canals by Transcription Method for Concrete Surface”, presented at JSIDRE, pp. 432~433, 2008.
- [4] Otagaki K, Hasegawa Y, Suzuki T, Matsumoto S and Sato S, “Study on Measurement Method of Surface Roughness of Concrete Canal by Three Dimensional Image Processing “, J of JSIDRE, NO. 280, pp. 7~13, Aug 2013.
- [5] Nakaya T, Tokashiki M, Mori M and Mori T, “Estimation of the Coefficient of Roughness from Surface Characteristics of Abraded Concrete Channel”, Trans of JSIDRE, No. 258, pp. 23~28, Dec 2008.
- [6] Tokashiki M, “ Studies on Erosion Mechanism and Accelerated Erosion Test of Concrete Irrigation Canal” Bull. Natl. Inst. Rural Eng. Japan, Vol. 52, pp. 1~57, 2013.
- [7] Kato T, Honma S, Kitamura K and Imaizumi M, “Deterioration of Irrigation Canals and Change in Roughness Coefficient”, Tech. Rep. Natl. Inst. Rural Eng. Japan, Vol. 207, pp. 183~193. 2008.
- [8] Nagaoka S, Tago Y, Okajima, K, Ishiguro S, “Measurement of roughness of concrete surface using airborne ultrasound”, presented at JSIDRE, pp 7~13, 2014.

空中超音波を用いたコンクリート面の粗さ測定

MEASUREMENT OF ARITHMETICAL MEAN ROUGHNESS OF CONCRETE SURFACE BY THE AERIAL ULTRASONIC SENSOR

三重大学大学院生物資源学研究科 長岡誠也

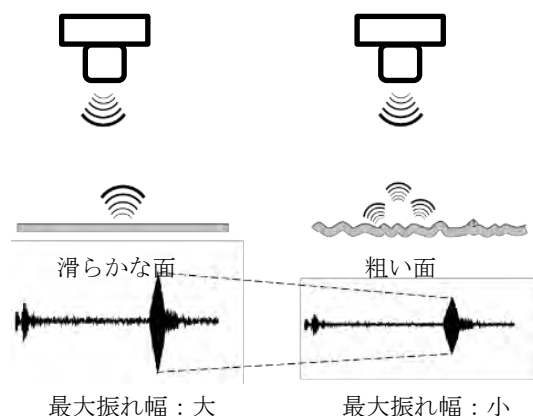
1.はじめに

近年、コンクリート製農業用水路の経年劣化により、コンクリート表面が摩耗する現象が問題視されている。摩耗劣化は水路内を流れる流水や流砂によって引き起こされる。摩耗した農業用水路は、本来の通水性能を満たすことができず、補修要因の1つとなる。そこで、摩耗によって生じるコンクリート面の粗さ(凸凹)を測定する技術が求められている。粗さは一般的に算術平均粗さによって評価する。先行研究ではレーザー変位計、三次元画像解析を用いた、測定が行われている。これらの測定は、粗さを細かい精度で測定ができ、有効な手法であると言える。しかし、本研究が対象としている農業用水路は総延長距離が長いことから、より簡易的・面的・安価に測定を行うことができる必要がある。そこで、空中超音波を用いることで、コンクリート面の粗さを簡易的・面的・安価に測定することを研究の目的とする。本稿では本研究の妥当性を検討するために設けた、3つの検討項目について紹介する。

2.測定原理

超音波の散乱減衰の性質を利用する。測定原理を第1図に示す。粗さのあるコンクリート面に空中から照射された超音波が反

射をするとき、乱反射をする。散乱した超音波はマイクロフォンが拾うことができず、結果的に最大振幅は減衰することとなる。粗さの増加に伴って、散乱減衰が大きくなるという、測定原理を用いて研究を行う。



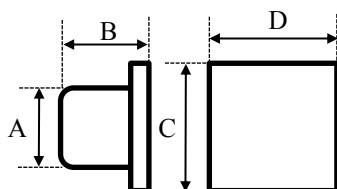
第1図 測定原理

3.本研究で用いた空中超音波センサ

本研究で用いている空中超音波センサはLV-MaxSonar-EZ1(MaxBotic, Inc)である。センサ寸法を第1表に示した。距離計センサであるLV-MaxSonar-EZ1の最大振幅を取得し、測定値として用いた。センサの単価は数千円と非常に安価に入手が可能である。測定値の取得にUSBオシロスコープ、PicoScope4424を用いた。

第 1 表 センサ寸法

周波数		42	kHz
寸法	A	16.4	mm
	B	15.5	
	C	19.9	
	D	22.1	
質量		4.3	grams



4.検討項目

I.測定結果のばらつき。空中超音波測定は短時間に大量のデータを取得することができるが、測定結果にばらつきがあり、いくつかの測定値の平均をとる必要がある。ばらつきの大きさを明らかにし、測定結果の平均回数を決定することを目的とする。

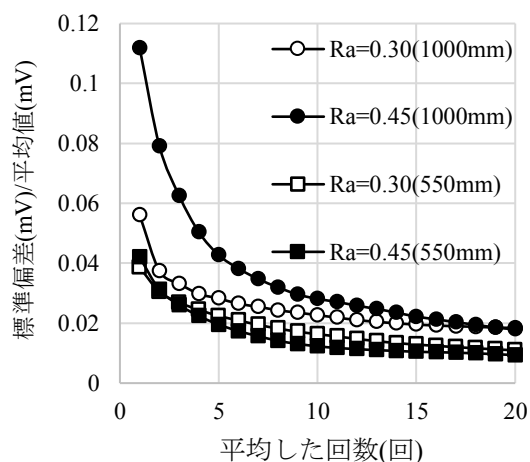
II.粗さ面測定への適用。空中超音波は距離計や風向風速計を測定するセンサとして用いられることが一般的で、粗さ面測定への適用事例は少ない。そこで、算術平均粗さの異なるコンクリート面で空中超音波測定を行うことで、算術平均粗さと最大振幅の関係を明らかにする目的である。

III.測定範囲の検証。超音波センサの広がり把握する指標として指向角が挙げられる。しかし、指向角とは、振動子から最短距離で結ぶ点での音圧 A に対して、振動子からある角度をもって結ぶ点での音圧が $A/2$ となる角度のことを言う。指向角から計算された範囲は、実際に測定している範囲を表していない。そこで、粗さ面測定が影響している測定範囲を明らかにする目的である。

4.1 測定結果のばらつき

ばらつきの検討では、 $Ra=0.30, 0.45\text{mm}$ 、センサから測定面までの距離 1000mm 、 550mm とした。連続して測定を行い、120個の測定データを得た。1回から20回までの移動平均を取り、100 サンプルの平均値 (mV) と、標準偏差 (mV) を得た。標準偏差のみで評価すると測定値が大きくなるにつれ、ばらつきが大きくなる傾向があり、相対的な評価ができない。そこで、平均値に対する標準偏差の割合から、ばらつきの評価を行った。第 2 図に平均した回数と標準偏差/平均値の関係を示した。

距離 550mm からの測定に比べ、距離 1000mm からの測定の方が、ばらつきが大きくなる傾向があるものの、5回の平均で、ほぼ 4%以内のばらつきに抑えることができた。また、15回の平均で、2%程度のばらつきに抑えることができた。15回の測定にかかる所要時間は 0.6 秒であり、短時間での測定が可能である。本研究の測定結果は 15 回平均した値を用いる。

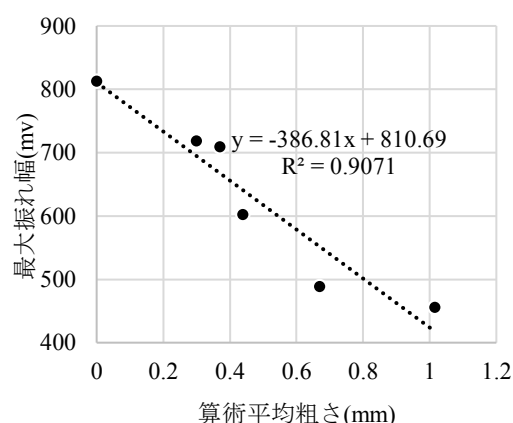


第 2 図 平均回数とばらつきの関係

4.2 粗さ面測定への適用

最大振幅から算術平均粗さを推定するため、 $R_a=0.00\sim1.02$ までの 6 つの測定面で、最大振幅の測定を行った。センサから測定面までの距離は、1000mm とした。算術平均粗さと最大振幅の関係を第 3 図に示す。

算術平均粗さの増加にともない、最大振幅の減衰が確認できた。測定面の凸凹による散乱の影響であると、考えられる。また、 R^2 値が 0.9 以上と高い相関があることが確認できた。以上の結果より、最大振幅から算術平均粗さは、近似直線式を用いて推定できる。加藤ら（2008）によると、供用 40 年経過している水路の算術平均粗さは、0.7mm 前後であると報告している。したがって、本研究で用いたセンサを用いる場合に、最大振幅が 540mV よりも低い場合に、算術平均粗さは 0.7mm 以上あると判断できる。



第 3 図 最大振幅と算術平均粗さの関係

4.3 測定範囲

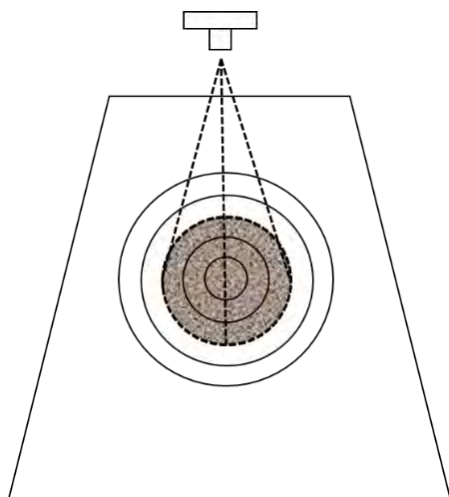
センサ直下に砂利を同心円上に設置し、その領域を拡大しながら測定を行った。測定の概略図を第 4 図に示す。使用した砂利

の粒径は 2mm で、隙間がなく、重ならないよう設置した。センサから測定面までの距離は 1000mm、550mm とした。距離が 1000mm のときは、直径 0, 200, 400, 600, 800, 900mm のときに測定を行った。距離が 550mm のときは 0, 100, 200, 300, 400, 500mm のときに測定を行った。第 5, 6 図に砂利の直径と最大振幅の関係を示す。表示されているエラーバーは、測定回数 15 回の標準偏差である。

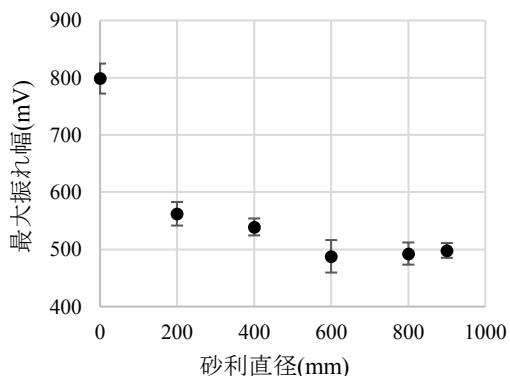
距離 1000mm のときは、直径 600mm まで最大振幅が減少を示した。直径 600mm 以降の測定結果は、標準偏差内に収まっていることから、測定に影響がないと考えられる。したがって、距離 1000mm からの測定するとき、測定範囲は、直径約 600mm である。

距離 550mm のときは、直径 300mm まで最大振幅が減少を示した。直径 300mm 以降の測定結果は、標準偏差内に収まっていることから、測定に影響がないと考えられる。したがって、距離 550mm からの測定するとき、測定範囲は、直径約 300mm であると言える。

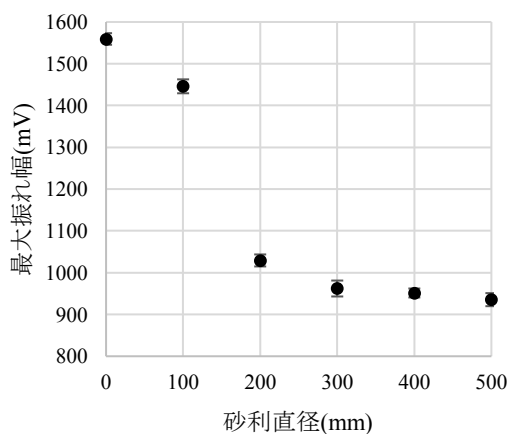
距離 1000mm、550mm お互いに面的な測定が可能である。また、直径 200mm までの減衰量が大きく、200mm 以降の減衰量は小さいことが確認できた。センサ直下に近いほど、最大振幅への影響が大きいと考えられる。表に距離 1000mm のときの 200mm 間隔の減衰量を示す。直径 200mm のときの減衰量が全体の減衰量の 70%程度の寄与率がある。



第 4 図 測定概略図



第 5 図 測定範囲 距離 1000mm



第 6 図 測定範囲 距離 550mm

おわりに

本稿では、空中超音波を用いたコンクリート面の粗さ測定の妥当性を検証するための、基礎的な研究部分を紹介した。4.1 測定結果のばらつきでは、15 回の測定結果の平均でばらつきを抑えることができ、測定時間は 0.6 秒であることがわかった。非常に短時間で測定が出来ることが明らかとなった。4.2 粗さ面測定への適用では、最大振幅と算術平均粗さの相関が高いことがわかった。最大振幅幅というシンプルな指標で、算術平均粗さの推定が可能であることが明らかとなった。4.3 測定範囲の検討では、距離 1000mm から直径 600mm、距離 550mm から直径 300mm の範囲を測定していることがわかった。以上の検討により、空中超音波センサを粗さ面測定に用いることによって、簡易的・面的・安価に測定ができる可能性があることがわかった。

今後は現場を想定した応用的な研究を進めていく必要がある。特に、温度・湿度・風速を含めた、環境要因による測定結果への影響を検討する必要がある。そこで、長期間の時間軸による測定結果のばらつきの検討を考えている。

参考文献

- 1) 加藤敬, 本間新哉, 北村浩二, 今泉眞之 (2008) : 開水路における壁面の凸凹から水路の粗度係数を求める試み, 農村工学研究所技報, 207, 183~193
- 2) 中矢哲郎, 渡嘉敷 勝, 森 充広, 森 丈久 (2008) : 摩耗したコンクリート水路表層形状からの粗度係数推定手法, 農業農村工学論文集, 258, 23~28

- 3) 内田晃一，石田征男，小川彰一
(2008)：コンクリート開水路の表面
形状測定による粗度係数の評価，農業
農村工学会全国大会講演要旨集，432-
433
- 4) 太田垣晃一郎，長谷川雄基，鈴木哲也，
松本伸介，佐藤周之（2013）：三次元
画像解析によるコンクリート水路表
面粗度の測定手法に関する研究，農業
農村工学会論文集，280，7～13
- 5) 平岡伸隆，三品 健，田中克彦，酒匂
一成，深川良一，島村 勝，外狩麻子
(2011)：超音波土中水分・水位計測
における周波数特性の検討，土木学会
第 66 回年次学術講演会要旨集，629-
630
- 6) 須田剛文，平井一弘，田中克彦，酒匂
一成，深川良一（2009）：斜面崩壊予
知のための超音波による土中水分状
態モニタリング，電子情報通信学会技
術研究報告，US2008-92，117-122
- 7) 竹村武士，丹治肇，蘭嘉宜（2001）：
開水路の現場粗度係数の推定方法の
検討，農業土木学会誌，69（5），25-
28
- 8) 渡嘉敷勝（2013）：農業用コンクリー
ト水路における摩耗機構および促進
摩耗試験に関する研究，農村工学研究
所技法，52，1-57

アブストラクト

農業用水路では摩耗劣化が補修要因として挙げられる。水路は延長距離が長く、照査において簡易的・面的・安価な測定が望まれている。空中超音波センサを用いて、最大振れ幅と算術平均粗さの関係から摩耗測定を行った。

空中超音波の最大振幅によるコンクリート面の粗さ計測

岡島賢治* 長岡誠也* 石黒 覚* 伊藤良栄* 渡部 健** 伊藤 哲***

* 三重大学大学院生物資源学研究所, 〒514-8507 三重県津市栗真町屋町 1577

** 丸栄コンクリート株式会社技術開発部, 〒501-6293 岐阜県羽島市福寿町間島 1518

*** 株式会社クロスアビリティ, 〒113-0033 東京都文京区本郷 4-1-5 石渡ビル 301

要 旨

コンクリート製農業用水路の水理性能低下は、粗度係数を判断指標としている。この粗度係数の推定には、コンクリート面の算術平均粗さが用いられる場合がある。本研究では、算術平均粗さの計測について、空中超音波の反射波の最大振幅が壁面の粗さによって異なることに着目し、空中超音波を用いた計測法を検討した。検討項目として、測定結果のばらつきの影響、算術平均粗さと反射波の最大振幅の関係、測定領域についての検討の3項目について検討した。その結果、空中超音波の反射波の最大振幅はコンクリート面の算術平均粗さを精度よく推定することができることが明らかとなった。また、測定結果の最大振幅を Kirchhoff モデルと比較した結果、最大振幅はモデルと比較的よく一致し、Kirchhoff モデルを用いて定量的にコンクリート面の二乗平均平方根粗さや相関長が計算できる可能性を示した。

キーワード：空中超音波，最大振幅，算術平均粗さ，Kirchhoff モデル，二乗平均平方根粗さ

1. はじめに

わが国の基幹的農業用排水路は、農林水産省農村振興局(2011)によると総延長 49,239km あり、膨大なストックを有している。これらの水路は、高度経済成長期以降に集中して整備されたものが多く、築造から数十年経過しているため、今後順次補修・更新を行う必要がある。このような主要な農業用水路の多くはコンクリートにより作られている。コンクリート製の農業用水路では、機能診断において水理性能の低下を補修・更新の要因とすることが多い。日本水土総合研究所(2013)によると、東海農政局管内では平成 13 年から 22 年までに行われたコンクリート製水路補修工事の 8 水路の事例のうち、6 水路において通水性能が要求性能を満たしていないという理由で補修工事が行われたと報告している。水理性能の低下は、流水によって水路コンクリート表面の凹凸である“粗さ”が増大し、粗度係数を上昇させることに起因する。しかし、機能診断における粗さの判定は目視に依存していることが多い。しかしながら、竹村ら(2001)が指摘しているように、供用開始後の水路の粗度係数の実測には水面に波が立ち水面勾配測定の実測による粗度係数の逆算は精度が課題となり、目視調査によっているのが現状である。このため、機能診断におけるコンクリート表面の粗さによる粗度係数を定量的に評価する方法が望まれている。また、ストックマネジメントにおいて最も望まれるコンクリート水路の劣化予測についても、定量的な評価によるデータの蓄積が不可欠である。

水路の粗さによる通水性能の低下を定量的に評価する手法を検討した事例は少なく、中矢ら(2008)が提案した手順がそれらの研究の基礎となっている。中矢ら(2008)は、コンクリート水路壁面の算術平均粗さ R_a 、最大高さ R_y と Manning の粗度係数における相当粗度の関係式を提案した。そして、コンクリート水路壁面の算術平均粗さ R_a 、最大高さ R_y について、加藤ら(2008)が型取りゲージを用いてコンクリート水路壁面の凹凸を計測し、供用されているコンクリート水路壁面の算術平均粗さ R_a と最大高さ R_y を報告している。

これらの算術平均粗さ R_a 、最大高さ R_y をコンクリート面から求める手法としては、加藤ら(2008)が型取りゲージを用いているのに対し、中矢ら(2008)はレーザー距離計による測定法を提案している。また、内田ら(2008)は粘土によるコンクリート面の凹凸の写し取りを提案している。さらに、太田垣ら(2012)は 3 次元画像解析による測定法を提案している。3 次元画像解析による測定法はコンクリート面全体を対象とする面的な情報を画像として取得しているが、取得画像を画像解析ソフトで解析する場合に計測線を対象として線情報としている。しかし、これらの手法はコンクリート面の一部の直線や一部の領域を測定する手法であり、凹凸のあるコンクリート面全体に対する代表性が課題となる。また、現場での測定結果から算術平均粗さ R_a を求める場合には、測定結果を持ち帰って解析する必要がある。算術平均粗さ R_a と最大高さ R_y の関係については、渡嘉敷(2013)が供用水路 5 地区での実測結果をもとに、算術平均粗さ R_a と最大高さ R_y には線形の関係があ

ることを示しており、算術平均粗さ R_a から最大高さ R_y の推定は可能と考えられる。

そこで本研究では、算術平均粗さ R_a を求める手法として空中超音波の反射波の強度を測定する手法を検討した。空中超音波によるコンクリート面の粗さ測定では対象面のある領域の反射波を受信するため、その領域の平均的な粗さを面的な情報として測定することができる。また、空中超音波トランスデューサーは、車のバックソナー等に使用されるように普及度の高い製品であるため、測定器を安価に製作することが可能である。さらに、空中超音波は通常 1 秒間に数十回の測定が可能であり、測定結果を短時間に得ることもできる。空中超音波を用いた類似の研究としては、中山 (1982) が電磁波の不規則面による波動理論を理論的に展開しており、その後も Sukmana and Ihara (2005) や Perez and Negreira (2008) のように不規則面からの反射においては二乗平均平方根粗さ R_q を用いた Kirchhoff モデルによる研究が続けられている。これらの不規則面に対する空中超音波を用いた研究は微小な凹凸を対象としており、コンクリート面のような比較的大きな凹凸を対象とした研究としては、須田ら (2009) や Hiraoka et al. (2011) が土表面の水分状態による空中超音波の反射波の最大振れ幅の違いに着目し、土中水分水位計を開発しているが、コンクリート面を対象とした研究事例はほとんどない。

以上より、本研究では、最大振れ幅とコンクリート面の粗さの関係が定量的に測定可能であることを明らかにすることを目的とした。このため、以下の 3 項目を検討した。① 空中超音波による粗さ測定において安定した測定結果を得るための、測定値のばらつき (略称: ばらつき) の検討。② 空中超音波法での粗さ測定が可能であるかの検討のための、空中超音波トランスデューサーとコンクリート面との距離を変えた空中超音波の最大振れ幅とコンクリート面の算術平均粗さ R_a の関係 (略称: 距離) の検討。③ 超音波測定による測定領域を明らかにするための、空中超音波による粗さ測定の測定領域に関する検討 (略称: 測定領域)。これらの結果をもとに、不規則面からの反射に対する基礎式である Kirchhoff モデルを用いた計算結果と比較することで、空中超音波の最大振れ幅と二乗平均平方根粗さ R_q との関係に関して考察を行った。

2. 空中超音波測定器と測定原理

通常、空中超音波は周波数が高くなるほど空気中での吸収損失による減衰が大きくなる。平岡ら (2011) は比較的手ししやすい 40kHz、95kHz、190kHz の空中超音波を用いた反射波の最大振れ幅について検討を行い、測定距離が 20cm より短いと 95kHz 以上の高周波超音波トランスデューサーが有効であることを報告している。本研究では、現地での水路壁の測定を想定し、測定距離は 0.5m から 2.0m 程度と考え、周波数が低く、比較的減衰率の低い 40kHz の周波数のトランスデューサーを使用した。40kHz の波長は 8.5mm であるので、対象面の凹凸の波長が 8.5mm の表面粗さがこ

のトランスデューサーの測定限界である。水路コンクリートでは 20mm から 40mm の骨材が使用されることが多く、粗度に影響を与えるような骨材の露出時には露出した骨材の頂部の間は 8.5mm 以上あると考えられる。このため 40kHz のトランスデューサーでもコンクリートの粗さ計測が可能であると考えた。

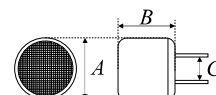
本研究で使用した空中超音波トランスデューサーは発信器・受信器に日本セラミック (株) 製 T/R40-16 を使用した。このトランスデューサーは開口型超音波トランスデューサーで、仕様を Table 1 にまとめた。本研究で使用したトランスデューサーの 6 dB 減衰指向角は 50 度である。本研究では面的な測定を目的としたためホーン等での超音波の収束は図っていない。発信は、空中超音波トランスデューサーに 0.5ms 間に 40kHz で 9V 電圧を印加したものを 1 タイミングパルスとして発信した。

発信間隔は 0.025s とし約 8m の距離まで計測可能な発信間隔とした。受信した反射超音波はオペアンプ NJM4580 で $-1M\Omega/10k\Omega$ の反転増幅により 100 倍した値をデジタルオシロスコープ (Tektronix TBS1152) で印加電圧とともに測定し記録した。記録間隔は $1\mu s$ 間隔とした。以降の計測での電圧は、受信用の超音波トランスデューサーが受信した電圧を 100 倍増幅した値とする。

Fig. 1 に空中超音波測定器の概念図を示す。パルス送信回路で発生させたパルスを送信トランスデューサーにかけ超音波を発信し、受信トランスデューサーで受信した様子と、受信回路で増幅した受信波の概念図を示している。送信トランスデューサーと受信トランスデューサーの間隔は 25.0mm とした。このとき、空中超音波トランスデューサーと壁面までの距離を L' とする。また、送信トランスデューサーから受信トランスデューサーまでの超音波の最短距離は矢印のようになり、このときの送信トランスデューサーから対象面までの距離を L とする。送信トランスデューサーと受信トランスデューサーの間が 25.0mm のとき、 L と L' のなす角を θ とすると、 $\cos \theta$ は L が 400mm で 0.9995 となり、 $L \approx L'$ とみなすことができる。このため、本研究では空中超音波測定器と対象面までの測定距離 L が 400mm 以上となるように設定した。

Table 1 超音波トランスデューサーの仕様
Specifications of the aerial ultrasonic transducer

中心周波数	40	kHz
音圧レベル	115 以上	dB
感度	-64 以上	dB
-6 dB 指向性	50	deg
外形寸法 (下図参照)	A	16.2
	B	12.2
	C	10.0



3. 不規則面の粗さ指標と対象面の選定

本研究では、検討項目として挙げた①ばらつき、②距離、③測定領域についての対象面は、コンクリート舗装材などの床面から選定した。選定したコンクリート面については、以下の手法で算術平均粗さ R_a と二乗平均平方根粗さ R_q を計算した。二乗平均平方根粗さ R_q は、不規則面からの反射の Kirchhoff モデルにおいて用いた。

3.1 不規則面の粗さ指標

本研究では、凹凸面の粗さを表す指標として使用されている算術平均粗さや二乗平均平方根粗さを求めるために、対象となるコンクリート舗装材面に Fig. 2 に示す型取りゲージを当てて凹凸を取得した。凹凸を表現しているゲージの各鋼棒の高さを Fig. 2 のように背景に方眼紙を置いた画像から読み取った。読み取りの計測ピッチは鋼棒の幅である 0.8mm とした。読み取った鋼棒の高さを $Y(x)$ として、Fig. 3 のように $Y(x)$ の 1 次近似直線を作成した。型取りゲージ上の任意の点 x における、 $Y(x)$ の 1 次近似直線から型取りゲージの凹凸が表す曲線までの変位を $f(x)$ としたとき (Fig. 4)、算術平均粗さ R_a は、(1) 式で求められる。

$$R_a = \frac{1}{l} \int_0^l |f(x)| dx \quad (1)$$

また、空中超音波を用いた不規則面計測で使われる粗さ指標に二乗平均平方根粗さ R_q があり、(2) 式のように表される。

$$R_q = \sqrt{\frac{1}{l} \int_0^l f(x)^2 dx} \quad (2)$$

ここに、 l は型取りゲージの長さ (mm)、 $f(x)$ は断面の曲線である。本研究ではほぼ一樣な粗さの面に対して、超音波測定器直下のコンクリート面に対して 1 箇所ずつ算術平均粗さ、二乗平均平方根粗さを計測し、その面の粗さとした。

3.2 対象面の選定

加藤ら (2008) は供用されている水路の算術平均粗さを計測し、供用後約 40 年の 2 水路について $R_a = 0.4 \sim 1.0\text{mm}$ 、 $0.3 \sim 1.0\text{mm}$ の範囲とし、供用後約 10 年の水路では $R_a = 0.0 \sim 0.3\text{mm}$ の範囲と報告している。

そこで本研究では、①、②の検討項目の算術平均粗さ R_a の範囲を $0.05 \sim 0.79\text{mm}$ の範囲で 8 つの対象面を選定した。①、②の検討項目と対象面の関係を Table 2 に示す。

③の測定領域に関する検討では、 $R_a = 0.26$ のコンクリート面上に砂利を同心円状に設置し、その領域を拡大していくことで測定領域を検討した。

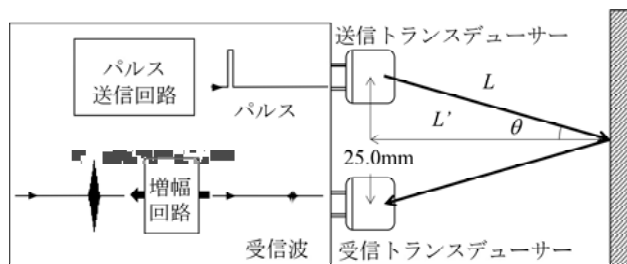


Fig. 1 空中超音波測定器の概念図
The diagram of measuring instrument with aerial ultrasonic transducer

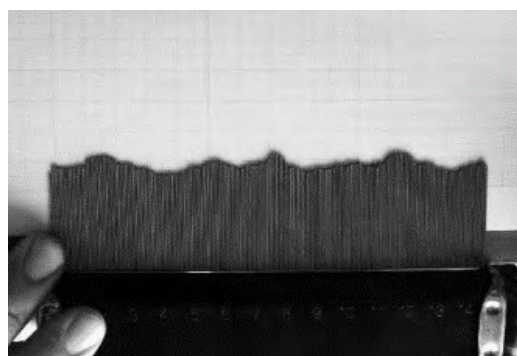


Fig. 2 型取りゲージからの凹凸の読み取り
Roughness read by profile gauge

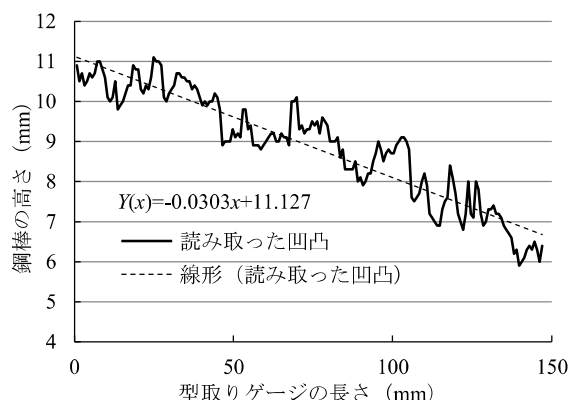


Fig. 3 読み取り結果の例
A sample of roughness read by profile gauge

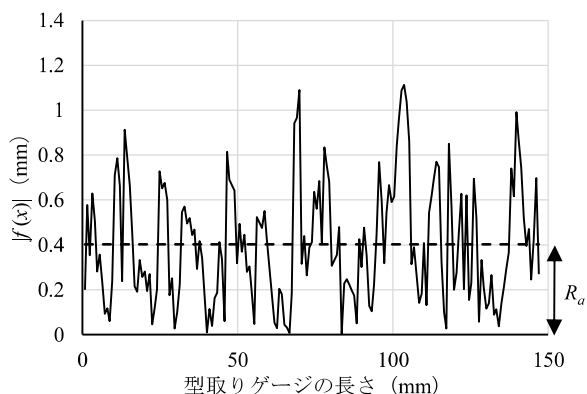


Fig. 4 凹凸が表す曲線の絶対値 ($|f(x)|$) と算術平均粗さ
 $|f(x)|$ and arithmetical mean roughness

4. 検討項目の測定結果

4.1 ばらつきの検討

測定結果のばらつきの検討は、晴れまたは曇りの屋外で、算術平均粗さ $R_a=0.05, 0.50, 0.72\text{mm}$ の3つの面を対象に行った。それぞれの対象面で、超音波測定器を超音波トランスデューサーがコンクリート面から1,000mmと550mmの計測距離となるように設置し、1箇所当たり125個の最大振幅を得た。この測定結果を算術平均した個数と平均値のばらつきの関係を検討した。

125個の測定結果に対して、1個から25個の移動平均を計算し、各々の平均した個数につき100サンプルの移動平均値を得た。各々の平均した個数について100サンプルの移動平均値の平均値(mV)と100サンプルの移動平均値に対する標準偏差(mV)を計算した。Fig. 5に平均した個数と100サンプルの移動平均値の平均値に対する100サンプルの移動平均値に対する標準偏差の割合を示した。

Fig. 5より、100サンプルの移動平均値に対する標準偏差の割合は、計測した対象コンクリート面の算術平均粗さによって収束する粗さが異なるものの、算術平均粗さが粗くなるほど大きくなるといった傾向は見られなかった。そして、同じ算術平均粗さの面では、測定距離が遠い方が、ばらつきが若干高くなる傾向が見られた。

しかし、測定結果は1箇所の測定につき1つの測定結果でも100サンプルの測定結果の平均値の4%程度の標準偏差以内に収まることが明らかとなった。また、1箇所の測定につき10個以上の測定結果の平均をとれば、その値は100サンプルの移動平均値の平均値の1%以下の標準偏差に抑えることができることが分かった。このため、本研究では以下の測定結果は10回の測定結果の平均値で議論した。本研究で使用した超音波測定器の発信間隔は0.025sであり、1秒間に40回の測定が可能である。測定結果を1%程度の標準偏差に抑えるために10回の平均値が必要とすると、0.25s程度の測定時間となることが分かった。

4.2 距離の検討

距離の検討は、晴れまたは曇りの屋外で、Table 2に示す算術平均粗さ $R_a=0.05\text{mm}$ から 0.79mm までの8つの面すべてを対象として行った。本実験に用いた超音波トランスデューサーの発信トランスデューサーと受信トランスデューサーの間隔は25.0mmである。実験においてはこの影響が小さくなるように空中超音波測定器とコンクリート面との測定距離が400mm以上となるように設定した。測定距離は550mmをコンクリート面から最も近い測定距離とし、1,000mmと1,500mmで計測した。

測定した最大振幅は、4.1節より測定値のばらつきが1%程度となるように、それぞれの距離で10回の測定値の平均をその測定距離の最大振幅とした。

算術平均粗さと最大振幅の関係を図6に示す。Fig. 6より、測定距離550mm、1,000mm、1,500mmの測定結果において、算術平均粗さが増加するにつれて、最大振幅が

Table 2 検討項目と対象面の算術平均粗さ
Arithmetical mean roughness and examination items

R_a (mm)	R_q (mm)	①ばらつき	②距離
0.05	0.06	○	○
0.07	0.09		○
0.15	0.18		○
0.21	0.24		○
0.26	0.32		○
0.50	0.63	○	○
0.72	0.83	○	○
0.79	0.96		○

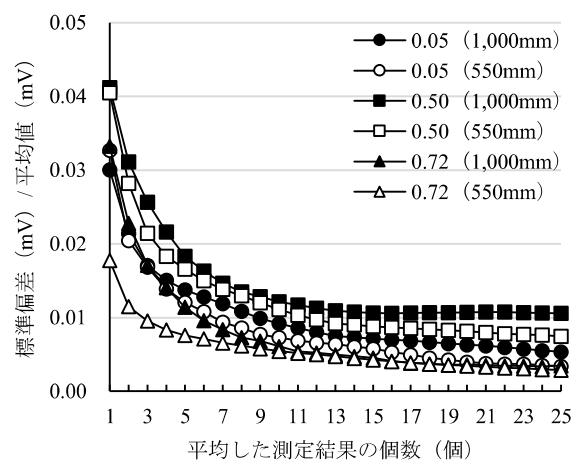


Fig. 5 測定値の移動平均のばらつき
The standard deviations of moving average of measured values

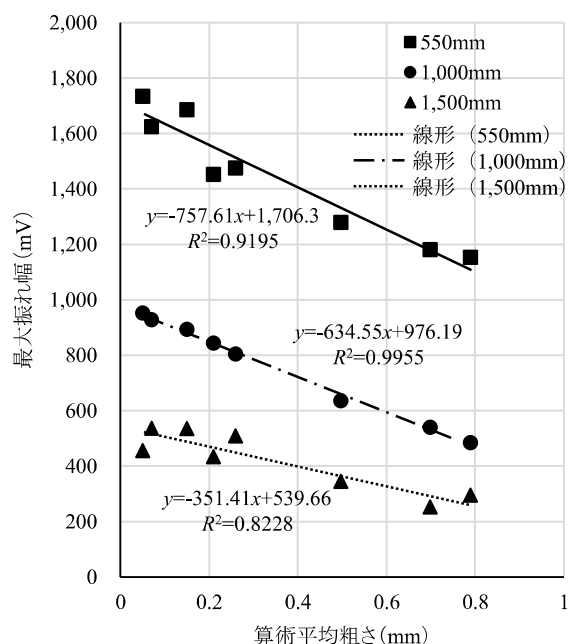


Fig. 6 最大振幅と算術平均粗さの関係
The relationship between peak to peak value and arithmetical mean roughness

減少することが確認できた。また、その最大振幅と算術平均粗さの関係は、線形近似で R^2 値 0.8 以上の高い相関を持つことが確認できた。この近似直線の傾きは測定距離が遠くなるにつれて小さくなった。

4.3 測定領域の検討

本研究で使用したトランスデューサーの 6 dB 減衰指向角は 50 度である。6 dB 減衰指向角は中心音圧が半減する角度であり、対象面から 1,000mm 離れた超音波トランスデューサーの場合、対象面においてトランスデューサー直下から直径約 933mm の領域となる。しかし、指向角はコンクリート粗さ測定における測定領域を表しているものではない。そこで、本研究では Fig. 7 に示すように測定領域についてトランスデューサー直下のコンクリート面上に砂利を同心円状に設置し、その領域を拡大させることで検討した。

使用した砂利は粒径 9.5~19mm, 粒径 2~4.75mm, 粒径 $850\mu\text{m}$ ~2mm の 3 種類とし (Fig. 8), 測定した算術平均粗さは $R_a=2.35\text{mm}$, $R_a=0.89\text{mm}$, $R_a=0.33\text{mm}$ であった。砂利を設置する際は砂利面の高さを一定とするために、砂利の粒子が重ならないように設置した。砂利の同心円の大きさは、直径 200mm, 400mm, 600mm, 800mm, 1,000mm とした。計測はコンクリート面からの距離 1,000mm の位置に超音波トランスデューサーを設置した。

Fig. 9 に測定領域の直径と最大振幅の関係を示す。測定領域が広くなるにつれて、どの砂利においても最大振幅が減少する傾向が見られた。そして、 $R_a=2.35\text{mm}$ と $R_a=0.89\text{mm}$ では測定領域の直径が 600mm 以上で、 $R_a=0.33\text{mm}$ では測定領域の直径が 200mm 以上でほぼ一定の値に収束した。本研究に用いた超音波トランスデューサーの測定領域は、算術平均粗さが大きくなるにつれて拡大する可能性はあるが、 $R_a=2.35\text{mm}$ 以下の粗さにおいては、1,000mm の距離からの計測で直径 600mm 以下の領域を計測していると考えられる。

5. Kirchhoff モデルとの比較

粗面からの超音波散乱強度を評価するモデルとして最もよく使用されるモデルに Kirchhoff モデルがある。このモデルは、単純な理論をもとに構成されており、極微小な粗さを対象とした面からの反射強度の計算においてある程度の有効性も確認されている (井原・スクマナ, 2008)。Kirchhoff モデルでは、反射強度 I はコヒーレント成分 I_{coherent} とインコヒーレント成分 $I_{\text{incoherent}}$ の和として次式で表される。

$$I = I_{\text{coherent}} + I_{\text{incoherent}} \quad (3)$$

入射波と反射波が対象面に対して垂直となる場合、コヒーレント成分は、平滑な表面からの反射波の強度 I_0 との関係で、対象表面の二乗平均平方根粗さ R_q 、入射波の波数 k を用いて次式のように表される。

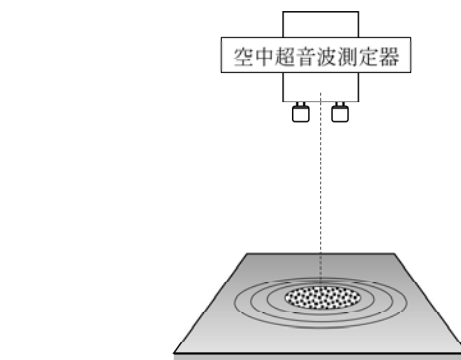
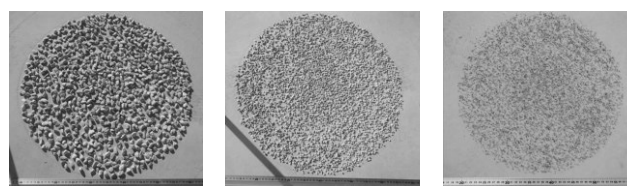


Fig. 7 測定領域の検討のための実験概要図
The diagram of experiments for searching the measuring range



$R_a=2.35\text{mm}$ 粒径 9.5~19mm
 $R_a=0.89\text{mm}$ 粒径 2~4.75mm
 $R_a=0.33\text{mm}$ 粒径 $850\mu\text{m}$ ~2mm
(※写真中の斜めの黒いラインは支柱の影)

Fig. 8 測定領域の検討に使用した砂利
Gravels applied for searching the measuring range

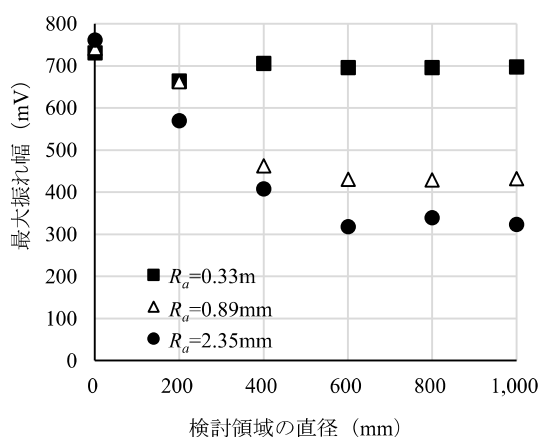


Fig. 9 測定領域の直径と最大振幅の関係
The relationship between peak to peak values and measuring ranges

$$\frac{I_{\text{coherent}}}{I_0} = e^{-k^2 R_q^2 / 2} \quad (4)$$

一方、インコヒーレント成分は、散乱点と観測点との距離 r と超音波照射面積 S 、対象面の相関長 λ を用いて次式で表される。

$$\frac{I_{\text{incoherent}}}{I_0} = \frac{k^2 \lambda^2 e^{-k^2 R_q^2} S}{4\pi r^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(k^2 R_q^2)^n}{n! n} \quad (5)$$

本研究では、反射強度を最大振幅とし、平滑な表面からの反射波の強度 I_0 は 4.2 節の測定結果の近似直線の切片の値とした。超音波照射面積は 4.3 節より、測定距離

1,000mmにおいて、直径200mmから直径600mmの範囲といえる。そこで、測定距離1,000mmのときは $R_a=0.05\text{mm}$ のとき直径200mmで $R_a=0.79\text{mm}$ のとき直径600mmとして、その間の R_a における超音波照射面積は線形補間で求めた直径とした。また、その他の測定距離では相似の関係にあると仮定し、測定距離550mmのときは $R_a=0.05\text{mm}$ のとき直径110mmで $R_a=0.79\text{mm}$ のとき直径330mm、測定距離1,500mmのときは $R_a=0.05\text{mm}$ のとき直径400mmで $R_a=0.79\text{mm}$ のとき直径900mmとして、その間の R_a における超音波照射面積は線形補間で求めた直径とした。また、相関長 λ は定義より対象面の自己相関係数を C_R とし、 $f(x)$ の標準偏差が σ のときに、次式のようになる長さとする。

$$C_R(\lambda) = \frac{\langle f(x) \cdot f(x+\lambda) \rangle}{\sigma^2} = \frac{1}{e} \quad (6)$$

ここで、 $\langle \rangle$ はアンサンブル平均。

Kirchhoffモデルでは、コヒーレント成分は平均値平面による鏡面反射成分のみを持ち、インコヒーレント成分はあらゆる方向への散乱波を含む。インコヒーレント成分は、凹凸の鉛直方向の情報を表現する二乗平均平方根粗さに加えて、凹凸の水平方向の情報を表現する相関長 λ を含む式となる。ただし、Kirchhoffモデルは、対象面の凹凸の変化がゆるやかで、凹凸の曲率半径は入射波の波長に比べて充分大きく($2k^2 R_a^2 \ll 1$)、Gaussian分布を持っているという仮定を置いている。

Fig. 10に実験結果の最大振幅(測定距離)、Kirchhoffモデルのコヒーレント成分の反射強度(Ico 測定距離)、反射強度(I 測定距離)と二乗平均平方根粗さの関係を示した。

Fig. 10より、実験結果の最大振幅(測定距離)とKirchhoffモデルのコヒーレント成分の反射強度(Ico 測定距離)を比較すると測定距離が遠く、二乗平均平方根粗さが小さいとき実験結果とよく一致していることが分かる。測定距離が遠く、粗さが小さい場合は反射強度におけるコヒーレント成分が支配的であると考えられる。測定距離が近く、二乗平均平方根粗さが大きい領域では、実験結果がKirchhoffモデルのコヒーレント成分の反射強度よりも大きくなる。この要因としては、反射波におけるコヒーレント成分の割合が減少しインコヒーレント成分が相対的に増加し始めたことによると考えられる。

次に、実験結果、Kirchhoffモデルのコヒーレント成分の反射強度(Ico 測定距離)と反射強度(I 測定距離)を比較する。反射強度(I 測定距離)は、二乗平均平方根粗さが大きい領域で、反射強度がコヒーレント成分の結果より大きくなり実験値に近づいていることが分かる。しかし、測定距離550mmの二乗平均平方根粗さが大きい領域で未だ実験値よりも低い値となっている。この要因としては、超音波照射面積 S の影響が考えられ、実際の照射範囲を測定してさらに検討を重ねる必要がある。

以上の考察を踏まえても、Kirchhoffモデルによる反射強度 I は、実験結果をよく表現できているといえる。このた

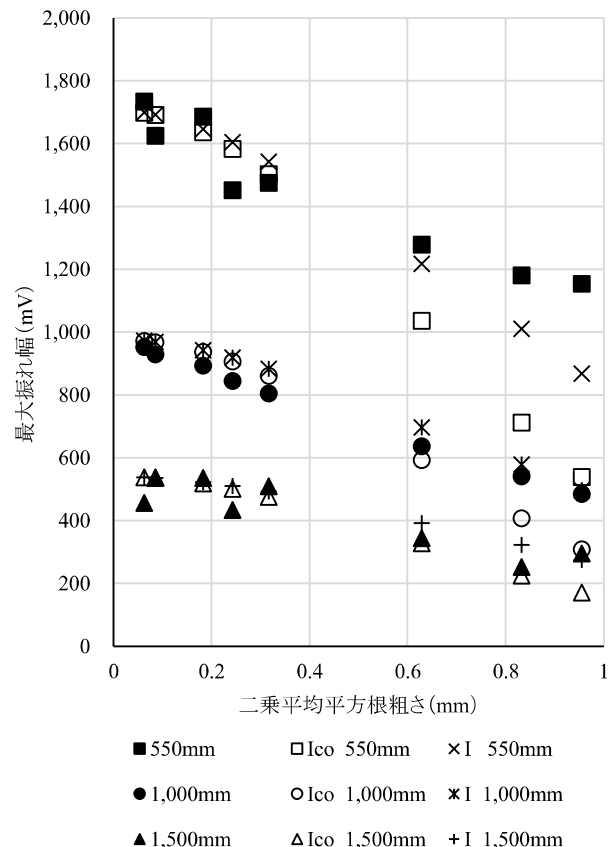


Fig. 10 Kirchhoffモデルと最大振幅の関係
The relationship between peak to peak values and calculated results by Kirchhoff theory

め、Kirchhoffモデルを用いて、空中超音波の最大振幅に対して、対象面の粗さを推定することができると考えられる。今後超音波照射範囲に関する検討を重ねることで、高さ方向の情報である二乗平均平方根粗さだけでなく、横方向の情報である相関長も定量的に評価できる可能性がある。

6. まとめ

本研究では、算術平均粗さを求める手法として空中超音波の反射波の強度を測定する手法を検討した。検討においては、①測定値のばらつきの検討、②空中超音波トランスデューサーとコンクリート面との距離を変えた空中超音波の最大振幅とコンクリート面の算術平均粗さの関係の検討、③空中超音波による粗さ測定の測定領域に関する検討を行った。

その結果、測定値のばらつきは、10回程度の測定結果の平均をとれば、100回の移動平均値の平均値の1%程度の標準偏差に抑えることができることが分かった。また、測定距離550mm、1,000mm、1,500mmの測定結果において、その最大振幅と算術平均粗さの関係は、線形近似で R^2 値0.8以上の高い相関を持つことが確認できた。さらに、超音波トランスデューサーの測定領域は、1,000mmの距離からの計測で直径600mmの領域を計測していることが分かった。

以上の結果を用いて Kirchhoff モデルとの比較を行ったところ、Kirchhoff モデルは実験結果をよく表現しており、Kirchhoff モデルを用いることで空中超音波の最大振れ幅から二乗平均平方根粗さだけでなく相関長も定量的に評価できる可能性を示した。

これらの結果から、摩耗した水路壁の粗さの定量的な測定法として、空中超音波の最大振れ幅が有効となる可能性を示唆することができた。しかし、これらの測定結果のばらつきの要因となる環境要因についての検討が不十分であり、温度、湿度、風速などについての検討を行う必要がある。また今後、Kirchhoff モデルの適用条件を精査する必要がある。さらに、送受信一体型の超音波トランスデューサー、対象面と超音波トランスデューサーのなす角の影響、外形寸法や周波数が同様の超音波トランスデューサーの個体差などを検討することで、実用に資する技術となる可能性がある。

謝辞：本研究は、農林水産省平成 26 年度官民連携新技術研究開発事業により補助をいただきました。

引用文献

- 平岡伸隆, 三品 健, 田中克彦, 酒匂一成, 深川良一, 島村 誠, 外狩麻子 (2011) : 超音波土中水分・水位計測における周波数特性の検討, 土木学会第 66 回年次学術講演会要旨集, 629-630.
- Hiraoka, N., Suda, T., Hirai, K., Tanaka, K., Sako, K., Fukagawa, R., Shimamura, M. and Togari, A. (2011) : Improved Measurement of Soil Moisture and Groundwater Level Using Ultrasonic Waves, *Jpn. J. Appl. Phys.*, **50**(7), 07HC19.
- 井原郁夫, デデン ディアン スクマナ (2008) : エアカップル超音波による材料表面の非接触トポグラフィー, 精密工学会誌, **74**(7), 691-695.
- 加藤 敬, 本間新哉, 北村浩二, 今泉真之 (2008) : 開水路における壁面の凹凸から水路の粗度係数を求める試み, 農村工学研究所技報, **207**, 183-193.
- 中矢哲郎, 渡嘉敷 勝, 森 充広, 森 丈久 (2008) : 摩耗したコンクリート水路表層形状からの粗度係数推定手法, 農業農村工学会論文集, **258**, 23-28.
- 中山純一 (1982) : 不規則表面による波動散乱理論, 京都大学, 博士論文, 1-186.
- 日本水士総合研究所 (2013) : 平成 24 年度水路保全技術検討業務委託事業報告書, 571-618.
- 農林水産省農村振興局 (2011) : 平成 21 年度農業基盤情報基礎調査報告書, 61-82.
- 太田垣晃一郎, 長谷川雄基, 鈴木哲也, 松本伸介, 佐藤周之 (2012) : 三次元画像解析によるコンクリート水路表面粗度の測定手法に関する研究, 農業農村工学会論文集, **280**, 7-13.
- Perez, N. and Negreira, C. (2008) : Evaluation of Air Coupling Ultrasonic Transducers for Surface Roughness Measurement, *Proceedings of the 6th Ibero-American Congress on Sensors*, 263-268.
- 須田剛文, 平井一弘, 田中克彦, 酒匂一成, 深川良一 (2009) : 斜面崩壊予知のための超音波による土中水分状態モニタリングの検討, 電子情報通信学会技術研究報告, **108**(410), 117-122.
- Sukmana, D.D. and Ihara, I. (2005) : Application of Air-Coupled Ultrasound to Noncontact Surface Roughness Evaluation, *Jpn. J. Appl. Phys.*, **44**(6), 4417-4420.
- 竹村武士, 丹治 肇, 蘭 嘉宜 (2001) : 開水路の現場粗度係数の推定方法の検討, 農土誌, **69**(5), 25-28.
- 渡嘉敷 勝 (2013) : 農業用コンクリート水路における摩耗機構および促進摩耗試験に関する研究, 農村工学研究所報告, **52**, 1-57.
- 内田晃一, 石田征男, 小川彰一 (2008) : コンクリート開水路の表面形状測定による粗度係数の評価, 平成 20 年度農業農村工学会大会講演会講演要旨集, 432-433.

Measurement of the Roughness of the Concrete Surface by the Peak to Peak Value of the Aerial Ultrasonic Wave

OKAJIMA Kenji*, NAGAOKA Seiya*, ISHIGURO Satoru*, ITO Ryouei*, WATANABE Ken** and ITO Tetsu***

* Graduate School of Bioresources, Mie University, 1577 Machiyacho, Kurima, Tsu, Mie 514-8507, JAPAN

** Maruei Concrete Industry Co., Ltd., 1518 Majima, Fukujyu-machi, Hajima, Gifu 501-6293, JAPAN

*** X-Ability Co., Ltd., 4-1-5 Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo 113-0033, JAPAN

Abstract

The hydraulic performance decline of the concrete agriculture irrigation canal often depends on roughness coefficients the evaluation criteria. The arithmetic mean roughness of the concrete surface is applied to the estimate of the roughness coefficient. In this study, we focused on that the aerial ultrasonic reflection wave has the feature of the peak to peak value varies according to the roughness of the wall surface. We suggested the measurement method of the roughness of the degraded concrete wall surface using the aerial ultrasonic wave. We conducted a series of experiments about relation of arithmetic mean roughness with the peak to peak value of the reflection wave. Next we verified about the measuring range. As a result, following became clear. The peak to peak value of reflection wave could estimate arithmetic mean roughness of concrete surface well. In addition, the calculated results by Kirchhoff theory predicted the peak to peak values well. We can get the root mean square surface roughness and the correlation length of the wall surface by applying Kirchhoff theory to the peak to peak value.

Key words : *Aerial ultrasonic, Peak to peak value, Arithmetical mean roughness, Kirchhoff theory, Root mean square surface roughness*

EFFECTS OF HAND MADE PLASTIC HORN TO MEASURE THE ARITHMETIC MEAN ROUGHNESS OF CONCRETE SURFACE BY TRANSCIVER TYPE AERIAL ULTRASONIC SENSOR

Mohammad Raihanul Islam*, NAGAOKA Seiya*, OKAJIMA Kenji*, ISHIGURO Satoru*, ITO Ryoei*,
WATANABE Ken** and ITO Tesu***

*Graduate school of Bioresources, Mie University, 1577 Machiyacho, Kurima, Tsu, Mie 514-8507, JAPAN

**Maruei concrete industry Co., Ltd., 1518 Majima, Fukujyu-machi, Gifu 501-6293, JAPAN

***X-ability Co., Ltd., 4-15 Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo 113-0033, JAPAN

ABSTRACT

In the present study was conducted to select one or more pattern of horn to measure the arithmetical mean roughness of concrete surface by transceiver type aerial ultrasonic sensor. The plastic made different types of horn was used to control the measuring range of the sensor. Total three types and nine patterns of horn were used in this study. One cylindrical type and two circular-tapered-conical shape types' horns were used. Height of the cylindrical horns and the slant height of the circular-tapered-conical shape horn were 2, 5 and 7 cm. The individual horn was placed in front of the measuring side of the aerial sensor. A digital oscilloscope was used to measure the measurement value and to get the measurement in wave form. The sensor was placed at 1m height from the measuring surface. We evaluated the amount of the reflective wave with the peak to peak value. When the arithmetical mean roughness was small, the peak to peak value was large. We considered the high peak to peak value, considerable variation of the measured peak to peak value and clear out range data to evaluate the performance of the used horns'. The cylindrical horn with the slant height of 7cm was preferred for the clear outrange value and the circular-tapered-conical shape horn with 5cm slant height was preferred for the high peak to peak value. These two horns controlled the measuring range of the used sensor effectively.

Keywords: aerial ultrasonic, peak to peak value, Arithmetical mean roughness, Horn, Performance evaluation

1. INTRODUCTION

Japan has possessed main concrete agriculture irrigation canals that have total length of 49,239km. These were constructed since 1954-1973 of the high economy growth. When canals became too old for work, they were necessary to be repaired. Especially, the hydraulic performance malfunction is used it as the repair factor. However, visual inspection is often used in the general maintenance of the roughness of the canal. Some canals managers want to assess quantitative of the roughness of the concrete surface of the canal quantitative. Since main concrete agriculture irrigation canals have enormous length, the method is required of quantitative assessment that is simple, short time and economical.

Flow velocity decreasing and water level raising are caused by the roughness of the concrete surface. These hydraulic performance malfunction of the concrete agriculture irrigation canal the roughness coefficient is assumed one of the evaluation criteria. The arithmetical mean roughness of the concrete surface is applied to the estimate of the roughness coefficient. However, the simple, short time and economical measurement of the arithmetical mean

roughness is difficult. Over the years, considerable attention has been paid to the study of measurement of the arithmetical mean roughness. The first attempt to assess the roughness of the concrete surface of the canals was made by reference [1]. Reference [1] suggested using the moulage gauge in the measurement of the arithmetical mean roughness. This method is the simple measurement, since managers only pushes the moulage gauge to the concrete surface. However, managers need complication analysis that read displacement from one by one the moulage gauge. Reference [2] suggested using the laser displacement sensor in the measurement of the arithmetical mean roughness. Measurement range of this method is line information of the concrete surface. Reference [3] suggested using the three dimensional image processing in the measurement of the arithmetical mean roughness. Measurement range of this method is line information without three dimensional image of the concrete surface. However, these method is not used in the general maintenance of the roughness of the canal. Since the agriculture irrigation canals is long total extension distance, managers request measurement of wide range.

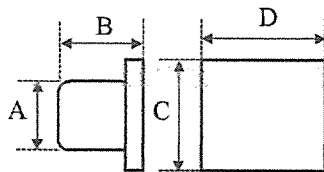
In this study, we attempted using the aerial ultrasonic wave of the transceiver type with different types of hand-made horns to measure the arithmetical mean roughness and to control the measuring surface

2. THE MEASUREMENT EQUIPMENT

We used LZ-EZ1 (Max Botic, Inc) as the aerial ultrasonic sensor of transceiver type. The sensor used designed for the ultrasonic measuring sensor. We selected a frequency from relationship of attenuation in the air. Since ultrasonic waves higher 80 kHz in frequency attenuates from distance of 2000(mm) and ultrasonic wave of the lower 20kHz in frequency may become the audible range, we selected about the 40kHz. The ultrasonic wave of 40kHz can measure from distance of 500~2000(mm) without attenuation. Next, we compared the open type (the sensitivity: min. -80.5dB) and the waterproof type (the sensitivity: min. -58.2dB) in sensitivity. The open type has 13 times higher sensitivity than the waterproof type at each output voltage. So, we selected the open type. But measurement of the aerial ultrasonic wave must limit not to get wet. Other specification shows table.1. Experiment date of the peak to peak value was acquired by the digital oscilloscope TBS1152 (Tektronix, Inc).

Table 1 Specification the aerial ultrasonic transducer of transceiver type

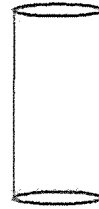
frequency		42	KHz
dimension	A	16.4	mm
	B	15.5	
	C	19.9	
	D	22.1	
weight		4.3	grams



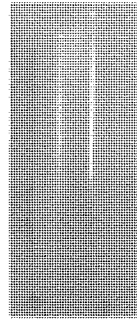
HAND-MADE HORN

Hand-made horn was used in this study. Total three types and nine patterns of horn were used in this study. One cylindrical type and two circular-tapered-conical shape types' horns were used. Height of the horns was 2, 5 and 7 cm. The individual horn was

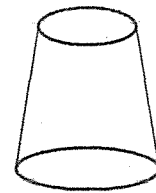
placed in front of the measuring side of the aerial sensor.



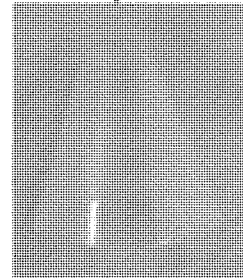
Diagrammatic view of the cylindrical shape horn



Photographic view of the cylindrical shape horn



Diagrammatic view of the circular-tapered-conical shape horn



Photographic view of the circular-tapered-conical shape horn

Fig. Hand-made plastic horn used in this study

Prepared horns' were classified and defined according to the following table:

Type	Identical name	Description of the horn
Cylindrical horn	3 cm	Height of the horn is 3 cm
	5 cm	Height of the horn is 5 cm
	7 cm	Height of the horn is 7 cm
Conical horn	20-3 cm	Slant height of the horn is 3 cm
	20-5 cm	Slant height of the horn is 5 cm
	20-7 cm	Slant height of the horn is 7 cm
	60-3 cm	Slant height of the horn is 3 cm
	60-5 cm	Slant height of the horn is 5 cm
	60-7 cm	Slant height of the horn is 7 cm

Basis of the present study

In our previous study we found that the dominant measuring range of the used sensor is about 200mm. to measure the mean arithmetic mean within the dominant range, decided to use the horn in front of the measuring side of the sensor.

THE MEASUREMENT PRINCIPLE

Figure1 shows the measurement principle of measurement of the arithmetic mean roughness of the concrete surface by the aerial ultrasonic wave of transceiver type. The wave of the aerial ultrasonic wave is reflected by the concrete surface. The reflection wave was diffusely reflected by the roughness of the concrete surface. We evaluated amount of the reflection wave with the peak to peak value. The peak to peak value is difference between the maximum value and the minimum value of the reflection wave value.

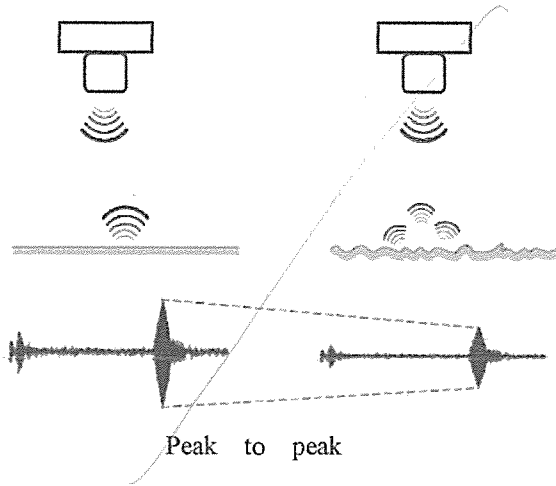


Fig. 1 The measurement principle of the ultrasonic sensor

ARITHMETIC MEAN ROUGHNESS

The Moulage Gauge and Determination

In this study the arithmetic mean roughness was measured by the moulage gauge. The length of the moulage gauge is 147(mm). The number of steel sticks is 183. Measurement interval is 0.8(mm). Figure2 shows the measurement surface of the arithmetic mean roughness 0.30(mm).

Figure3 shows the image of the arithmetic mean roughness. The formula $f(x)$ is the roughness curve of the concrete surface. The formula $Y(x)$ is liner approximation that is calculated from the roughness curve.

R_a is calculated by ration between the integral value of $|f(x) - Y(x)|$ and the length of the moulage gauge.

$$R_a = \frac{1}{l} \int_0^l |f(x) - Y(x)| dx \quad (1)$$

- R_a : The arithmetic mean roughness
- $f(x)$: The roughness curve
- $Y(x)$: The Formula of liner approximation
- l : The length of the moulage gauge

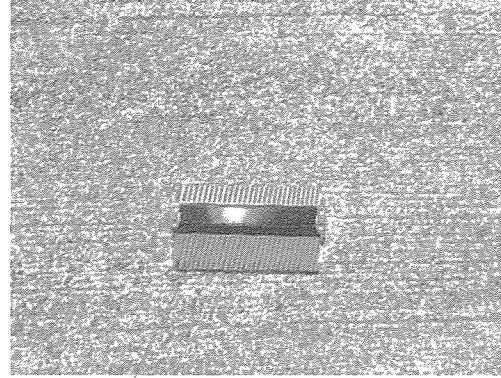


Fig. 2 The measurement surface of the arithmetic mean roughness in 0.30(mm)

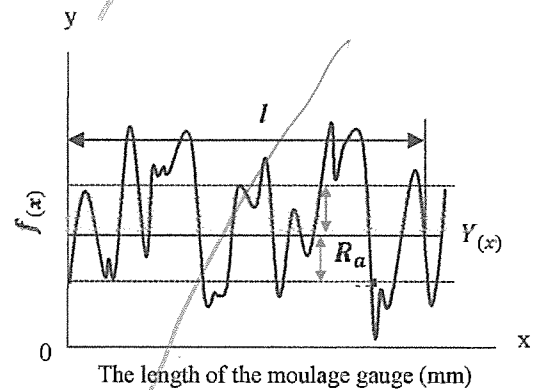


Fig. 3 The image of the arithmetic mean roughness

5.2 The Application of Measurement of the Arithmetical Mean Roughness

We measured the peak to peak value. The aerial ultrasonic measured from distance of 1000(mm). We measured five concrete surfaces that is 0.00~0.67 (mm) in the arithmetical mean roughness.

It is clear from figure5 that the peak to peak value was decreased with increasing the arithmetical mean roughness. In addition the formula of liner approximation had high correlational relationship. The formula of liner approximation is used to estimate the arithmetic mean roughness from the peak to peak. Measurement of the transceiver type aerial ultrasonic wave can estimate the arithmetical mean roughness well.

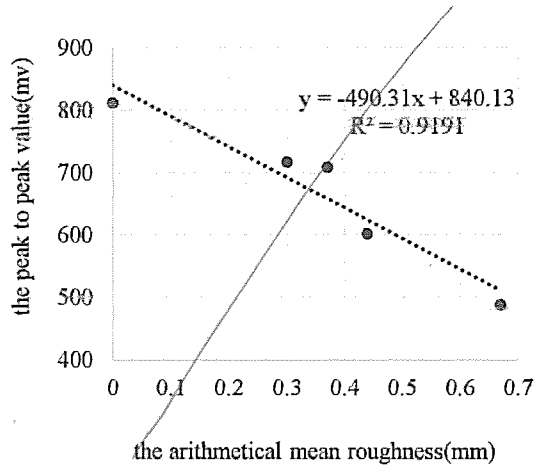


Fig. 5 The relationship between the peak to peak value and the arithmetical mean roughness

Experimental Program

Measurement of the aerial ultrasonic can measure the wide range. However, the measurement range that has inference on the measurement value is uncertain. To calculate the correct measurement range is almost impossible. The purpose is to clarify the measurement range that has inference on the measurement value.

Figure7 shows the experiment principle. We examined measurement range by widening diameter of the grave on the flat board. The flat board is 0.00(mm) in the arithmetic mean roughness. The grave of particle size is 2mm. Figure8 shows the used grave. The aerial ultrasonic measured from distance of 1000mm.

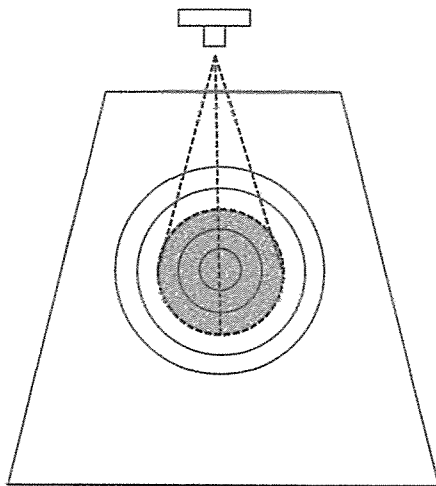
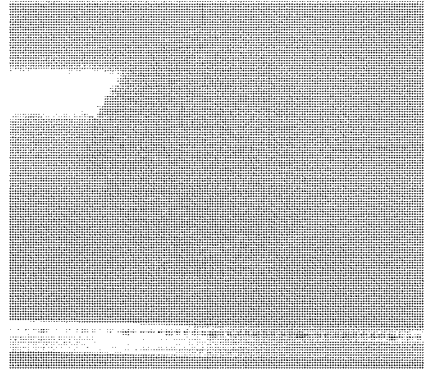


Fig. 7 The diagram of experiments for searching the measuring range



RESULTS

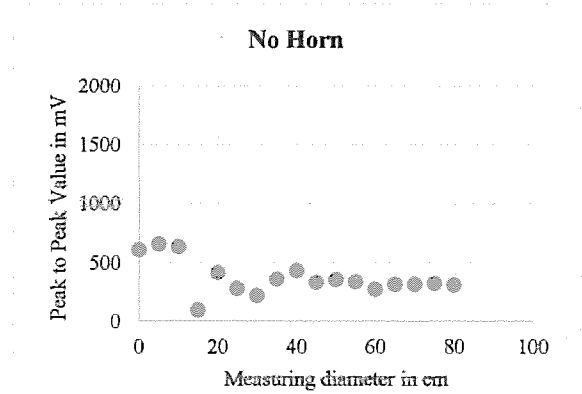


Fig. Relation between the measuring diameter and the peak to peak value measured without any horn

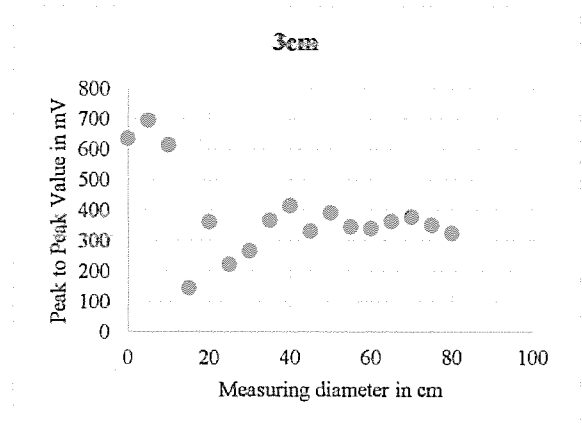


Fig. Relation between the measuring diameter and the peak to peak value measured by the help of 3cm cylindrical horn

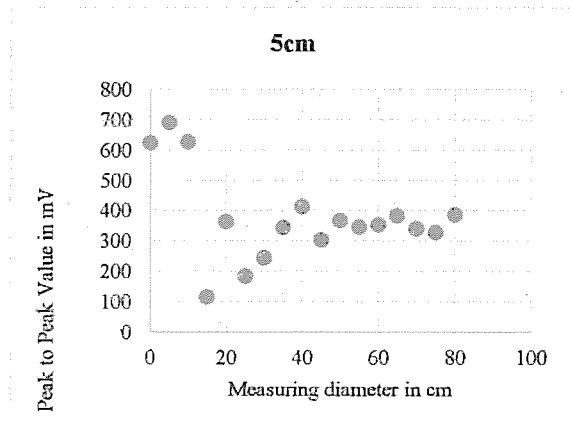


Fig. Relation between the measuring diameter and the peak to peak value measured by the help of 5cm cylindrical horn

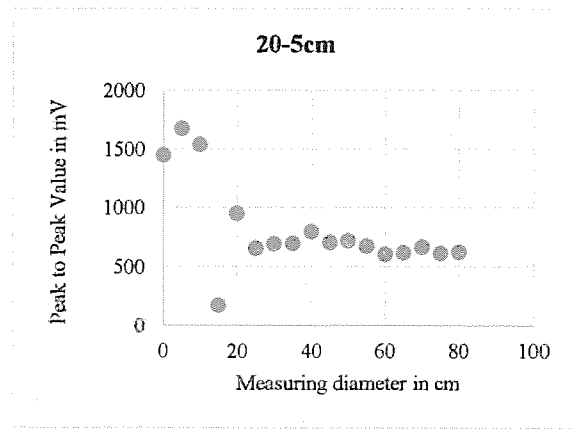


Fig. Relation between the measuring diameter and the peak to peak value measured by the help of 20-5cm circular-tapered-conical shape horn

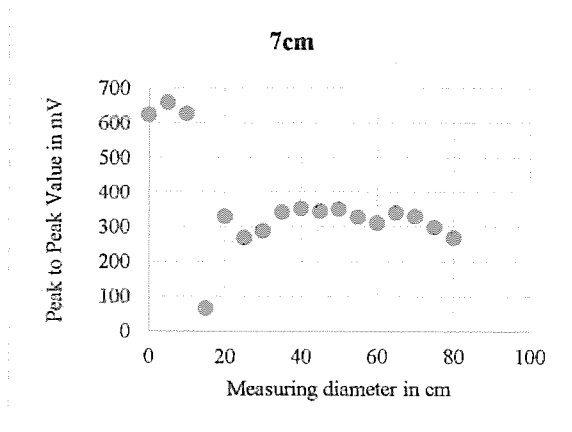


Fig. Relation between the measuring diameter and the peak to peak value measured by the help of 7cm cylindrical horn

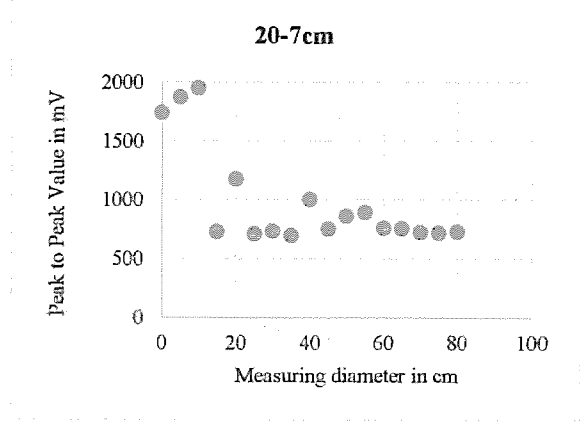


Fig. Relation between the measuring diameter and the peak to peak value measured by the help of 20-7cm circular-tapered-conical shape horn

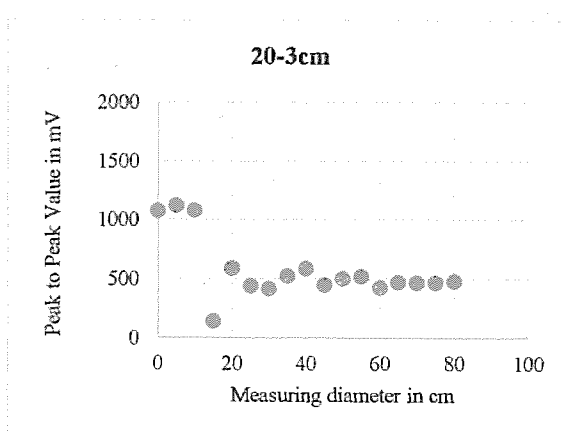


Fig. Relation between the measuring diameter and the peak to peak value measured by the help of 20-3cm circular-tapered-conical shape horn

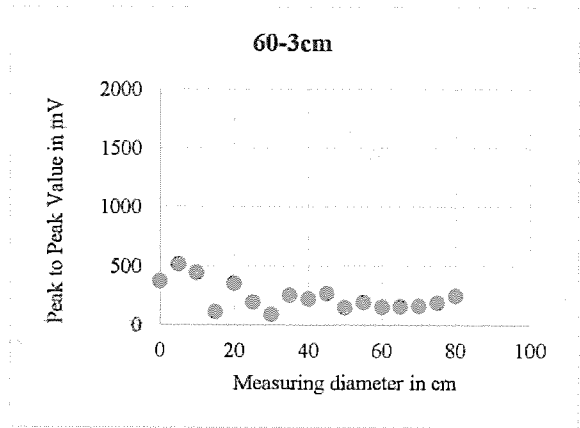


Fig. Relation between the measuring diameter and the peak to peak value measured by the help of 60-3cm circular-tapered-conical shape horn

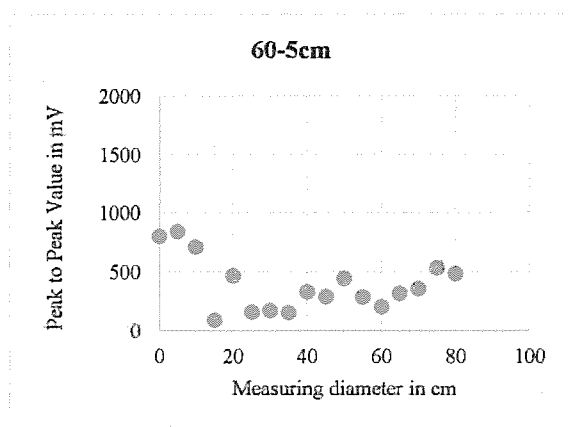


Fig. Relation between the measuring diameter and the peak to peak value measured by the help of 60-5cm circular-tapered-conical shape horn

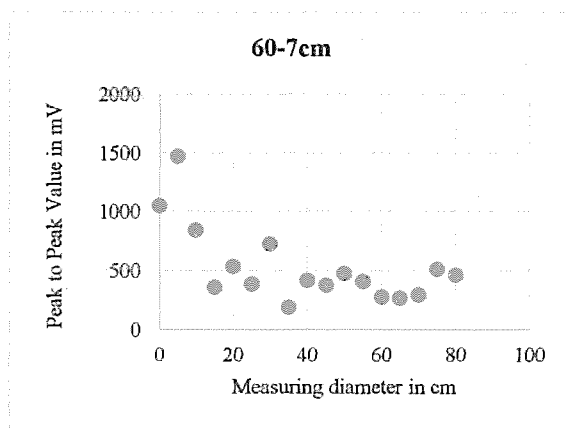


Fig. Relation between the measuring diameter and the peak to peak value measured by the help of 60-7cm circular-tapered-conical shape horn

The cylindrical horn with the slant height of 7cm was preferred for the clear outrange value and the circular-tapered-conical shape horn with 5cm slant height was preferred for the high peak to peak value. Other horns were rejected for unclear outrange, low peak to peak value and the presence of confusing data range.

6 CONCLUSION

We examined influence of the dispersion of the measurement values, relation between the arithmetical mean roughness and the peak to peak value of the reflection wave, and the verification of the measurement rang. As a result, following became clear. The peak to peak value of the reflection wave could estimate the arithmetical mean roughness well. The average of 15 times of measurement values were sufficient accuracy. The dominant range of measurement was 200(m) in diameter from distance of 1000(mm). The cylindrical horn with the slant height of 7cm and the circular-tapered-conical shape horn with 5cm slant height was preferred for measuring peak to peak value and to control the measuring range.

When manager estimate the arithmetical mean roughness, only evaluate the peak to peak of the reflection wave. We think of measurement range is wide. The results of this study reveal that measurement of the arithmetical mean roughness of the concrete surface can using the aerial ultrasonic sensor of transceiver type.

It remains a challenge for future research to verification of the measurement in various weather such as temperature and wind velocity, and measurement of the canal on field.

ACKNOWLEDGEMENTS

This study is funded by the Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries.

REFERENCES

- [1] Kato T, Honma S, Kitamura K and Imaizumi M, "Deterioration of Irrigation Canals and Change in Roughness Coefficient", Tech. Rep. Natl. List. Rural Eng. Japan, Vol. 207, pp. 183~193. 2008.
- [2] Nakaya T, Tokashiki M, Mori M and Mori T, "Estimation of the Coefficient of Roughness from Surface Characteristics of Abraded Concrete Channel", Trans. of JSIDRE, No. 258, pp. 23~28, Dec 2008.
- [3] Otagaki K, Hasegawa Y, Suzuki T, Matsumoto S and Sato S, "Study on Measurement Method of Surface Roughness of Concrete Canal by Three Dimensional Image Processing", J of JSIDRE, NO. 280, pp. 7~13, Aug 2013.

論文 7

空中超音波センサによる農業用水路コンクリート表面粗さ測定における 風速による測定結果への影響

Influence of wind velocity in the measurement of the roughness of the concrete agriculture irrigation canal with the aerial ultrasonic sensor

○長岡 誠也*, 岡島 賢治*, 石黒 覚*, 伊藤 良栄*, 渡部 健**, 伊藤 哲***

NAGAOKA Seiya, OKAJIMA Kenji, ISHIGURO Satoru, ITO Ryoei, WATANABE Ken, ITO Tetsu

1 はじめに

農業用水路では摩耗劣化が主な補修要因として挙げられる。水路の特徴として延長距離が長いこと、照査において簡易で・面的な測定法が不可欠であると考えられる。そこで、長岡ら(2015)が簡易で面的な測定が可能な空中超音波測定を提案した。空中超音波は粗さ面に対して波が散乱し、最大触れ幅が減衰する特徴を有する。これまでの研究では農業用水路コンクリート表面の粗さを測定するための基礎研究と位置付け、粗さ面測定への適用、測定範囲、センサ法線と測定面のなす角が及ぼす影響、最適なセンサ素子数の決定を行った。しかし、測定現場を想定した場合、環境的な問題が生じることが想定される。特に空中超音波センサは、風向・風速計に用いられることがあるため、風速による影響は無視することが出来ない。そこで本研究では、測定中に生じる風に着目をし、風速による測定結果への影響を検討した。

2 空中超音波センサと測定面

本研究では長岡ら(2015)が使用したセンサと同様の LV-EZ1(MaxBotix.inc)を使用した。また本研究からホーンを装着することにより、超音波の広がりを制限し、測定範囲を明確にしている。測定面は遅延剤を用い、人工的に表面を洗い出した摩耗模型コンクリートパネルを3枚製作した。最大粒径 20(mm)、使用した骨材は碎石で、寸法は 700×700×50(mm)である。加藤ら

(2008)が、供用 40 年後の 2 水路の算術平均粗さは、0.4~1.0(mm)、0.3~1.0(mm)であると報告している。したがって、本研究では摩耗進行状況に合わせ、算術平均粗さ 0.04, 0.32, 1.02(mm)のコンクリートパネルを製作した。

3 実験概要

風速は開放型風洞実験装置により人工的に発生させた。水路内で発生する風の向きは、水路延長方向であると想定される。したがって、風洞装置に対して水平方向に超音波が照査されるようにセンサを設置した。実験の概略図を図 1 に示す。一般的に風速 10(m/s)を超える場合は、屋外での測定が困難であることを想定し、測定限界風速とした。測定は 2(m/s)間隔で 0~10(m/s)の測定を行った。

高さ 1.00(m)から測定面に対して鉛直方向に空中超音波を照射し、オシロスコープにより反射波の最大触れ幅(mV)・波形を取得した。最大触れ幅は 31 回平均の値を用いた。

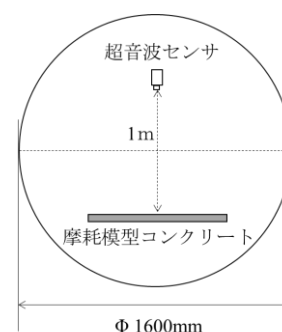


図 1 風洞実験正面図

* 三重大学大学院生物資源学研究科 Graduate school of Bioresources, Mie University

** 丸栄コンクリート工業株式会社 Maruei concrete industry Co., Ltd.

*** 株式会社クロスアビリティ X-ability Co., Ltd.

空中超音波, 粗度係数, コンクリート

4 実験結果と考察

実験結果のエラーバーは、測定結果のばらつきを表すため、31回の標準偏差を用いた。風速0(m/s)での最大振幅の値が異なるのは、測定面の粗さによる波の散乱による影響である。

風速4(m/s)以下の測定結果は、標準偏差の範囲内であるため、測定に影響は少ない。

風速4~6(m/s)は、標準偏差の範囲内ではあるが、図4のように減衰の傾向が見られるパターンもある。それは、無風条件下に比べ標準偏差が、平均して30(mV)程大きくなる。また、風速が強くなるにつれて、標準偏差が大きくなる傾向があるため、測定結果に測定誤差範囲内のばらつきが生じる可能性がある。

風速6(m/s)以上は線形に減衰を示した。表1より各パネルの減衰量は異なり、減衰率を比較すると、算術平均粗さが大きくなるにつれて減衰率が大きくなる傾向がある。したがって、風速の影響に対する補正について考えると、図2, 3, 4の近似式が示すように粗さごとの補正式が必要となる。しかし、上記でも述べたように風速が強くなるにつれ、標準偏差が大きくなるため、測定結果にばらつきが生じる可能性があり、高い精度での補正は困難であると考えられる。

5. まとめ

本研究では測定中に生じる風に着目をし、風速0, 2, 4, 6, 8, 10(m/s)の条件下で空中超音波センサを用いて、風速による測定結果への影響を検討した。

風速4(m/s)以下では、測定結果への影響は少ないことがわかった。

風速4~6(m/s)では、測定結果への影響は少ないが、測定結果に測定誤差範囲内のばらつきが生じる可能性があることがわかった。

風速6(m/s)以上では、線形に減衰を示した。しかし、標準偏差が大きくなるため、測定結果にばらつきが生じる可能性があり、高い精度での補正は困難であることがわかった。

以上より、風速が6(m/s)以下であれば、屋外での測定に影響は少ない。

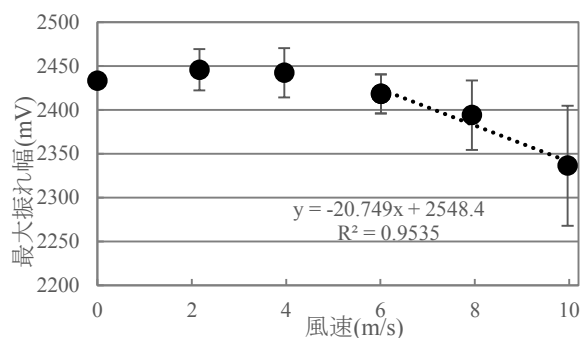


図2 算術平均粗さ 0.04(mm)実験結果

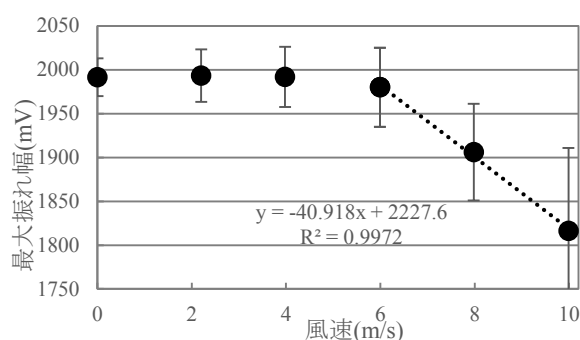


図3 算術平均粗さ 0.32(mm)実験結果

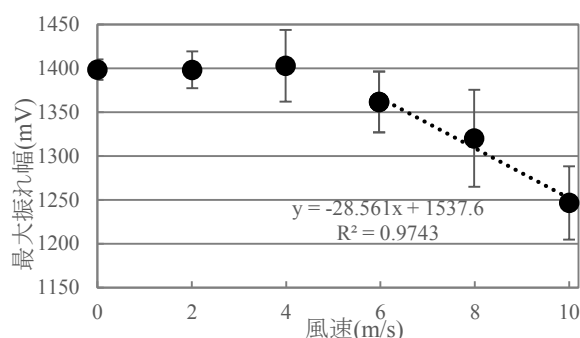


図4 算術平均粗さ 1.02(mm)実験結果

表1 0(m/s)~10(m/s)までの減衰量と減衰率

Ra(mm)	0.04	0.32	1.02
減衰量(mV)	96.94	175.10	151.97
減衰率(%)	3.98	8.79	10.87

謝辞: 本研究は平成 26 年度官民連携新技術研究開発事業により補助をいただきました。

参考文献

- 1) 長岡ら(2015): 空中超音波によるコンクリート表面粗さ測定の実験・受信素子数による比較検討, 農業農村工学会大会講演会講演要旨集, p676-677
- 2) 加藤ら(2008): 農業用水路コンクリートに生じる摩耗に関する調査手法, コンクリート工学年次論文集, Vol31, No.1

Effect of Wind Velocity for Measuring the Concrete Surface Roughness of Irrigation Canal by Aerial Ultrasonic Sensor

**Mohammad Raihanul Islam¹, NAGAOKA Seiya¹, OKAJIMA Kenji¹,
ISHIGURO Satoru¹, ITO Ryouei¹, WATANABE Ken² and ITO Tesu³**

¹Graduate school of Bioresources, Mie University, Tsu City, Mie 514-8507, JAPAN

²Maruei concrete industry Co., Ltd., Fukujyu-machi, Gifu 501-6293, JAPAN

³X-ability Co., Ltd., 4-15 Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo 113-0033, JAPAN

ABSTRACT

Hydraulic performances are greatly influenced by Surface roughness of irrigation canal. Especially after long time use it is necessary to measure the surface roughness to decide whether or not it will go under maintenance. A new, easy and quick measuring technique for the surface roughness with aerial ultrasonic sensor introduced. For confirming the accuracy of measurement of roughness by this method, it was very essential to see the effects of air velocity and other factors on it. The proposed experiment was performed in laboratory. An air flow tunnel was used to flow expected air velocity. The experimental air velocity was 0m/s, 2m/s, 4m/s, 6m/s, 8m/s and 10 m/s. The aerial ultrasonic sensor measured the peak to peak value from the distance of 1m. Three types of concrete samples with different surface roughness were used in this experiment. In all the cases, peak to peak value was same for 0-4 m/s air velocity and after that it was decreased with the increase of air velocity. Peak to peak value can be measured by aerial ultrasonic sensor with accuracy even in windy condition.

Keywords: Hydraulic performance, Peak to peak value, Air velocity, Surface roughness, Ultrasonic sensor

1. INTRODUCTION

Japan has concrete agriculture irrigation canals having total length of 49,239km. These were mostly constructed since 1954-1973 of the high economy growth. Most of these concrete irrigation canals expired their design life. So that now it is become essential to repair. To repairing the structure, a priority based schedule is essential for this large volume of works. Hydraulic properties of irrigation canal greatly influence by the surface roughness of the irrigation canal. Farm managers could decide by measuring the surface roughness to decide whether or not it will go under maintenance. To measure the surface roughness by the aerial ultrasonic sensor effectively, it is essential to be confirm whether there have any effects of wind velocity or not.

The first attempt to measure the surface roughness of the concrete wall of the canals was made by Kato T. et al, 2008. Kato T. et al, 2008 suggested to use the moulage gauge to measurement the arithmetic mean roughness. This method is very simple to measure, since managers only places and press the moulage gauge on the concrete surface. According to this medhod, the managers need to do complicated analysis that read displacement of the moulage from one by one the moulage gauge. Nakaya T. et al, 2008 measured the arithmetical mean roughness by using the laser displacement

sensor. Measurement range of this method is the expressed in line information of the concrete surface. Otagaki K. et al, 2013 suggested for using the three dimensional image processing in the measurement of the arithmetical mean roughness of the concrete surface.

In this study, we examined of the dispersion of the measurement value. Next, we examined the peak to peak value. Next, we examined the influence of wind velocity on the performance of aerial ultrasonic sensor to measure the surface roughness.

2. MATERIALS AND METHODOLOGY

2.1 The Measurement Equipment:

We used LZ-EZ1 (MaxBotic, Inc) as the aerial ultrasonic sensor of transceiver type. The sensor used designed for the ultrasonic measuring sensor. We selected a frequency from relationship of attenuation in the air. Since ultrasonic waves higher 80kHz in frequency attenuates from distance of 2000(mm) and ultrasonic wave of the lower 20kHz in frequency may become the audible range, we selected about the 40kHz. The ultrasonic wave of 40kHz can measure from distance of 500~2000(mm) without attenuation.



Photo1. Photographic view of the aerial ultrasonic sensor

2.2 The Measurement Principle:

Figure1 shows the measurement principle of measurement of the arithmetic mean roughness of the concrete surface by the aerial ultrasonic wave of transceiver type. The wave of the aerial ultrasonic wave is reflected by the concrete surface. The reflection wave was diffusely reflected by the roughness of the concrete surface. We evaluated amount of the reflection wave with the peak to peak value. The peak to peak value is difference between the maximum value and the minimum value of the reflection wave value.

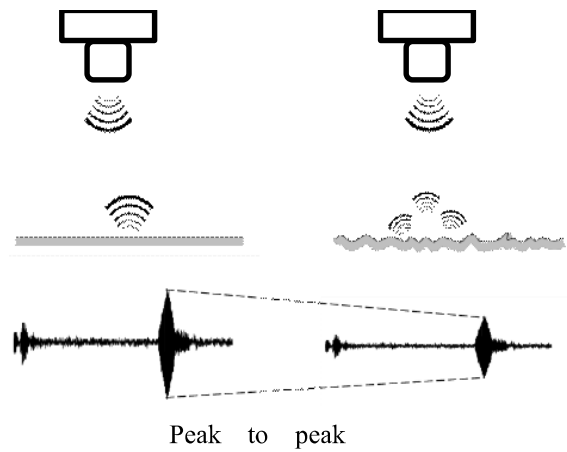


Fig.1 The measurement principle of the ultrasonic sensor

It is generated a uniform wind. Stepwise adjust the wind speed ($0 \sim 10 \text{ m / s}$). Temperature and humidity was in room condition. Open-type wind tunnel was used with laboratory equipment. Wind tunnel equipment set up according to the specification. Discharge port diameter $\phi 1600 \text{ mm}$. Wind speed: $2 \sim 20 \text{ m / s}$.



Photo2. Photographic view of the Experiment set-up

3. RESULTS AND DISCUSSION

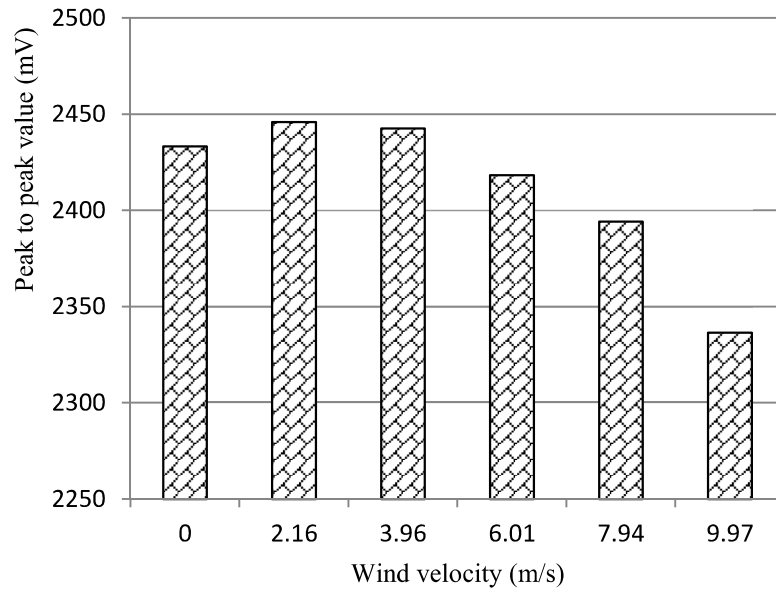


Fig.2 Effect of wind velocity to measure the peak to peak value of smooth concrete surface

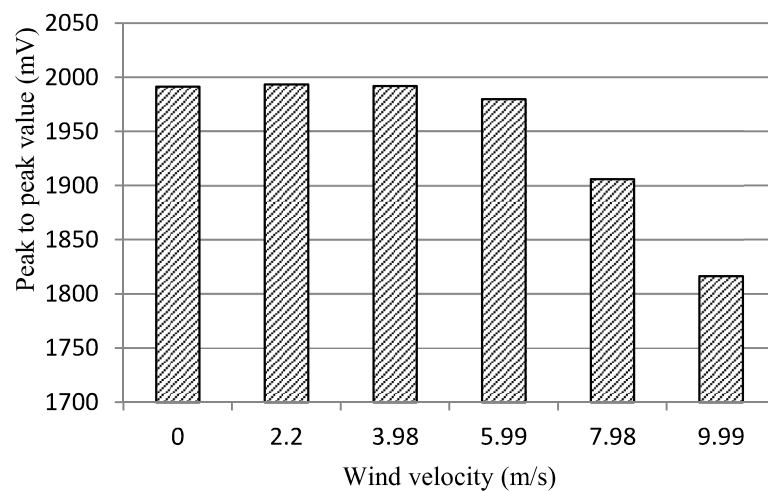


Fig.3 Effect of wind velocity to measure the peak to peak value of concrete surface with roughness $R_a=0.32$ mm

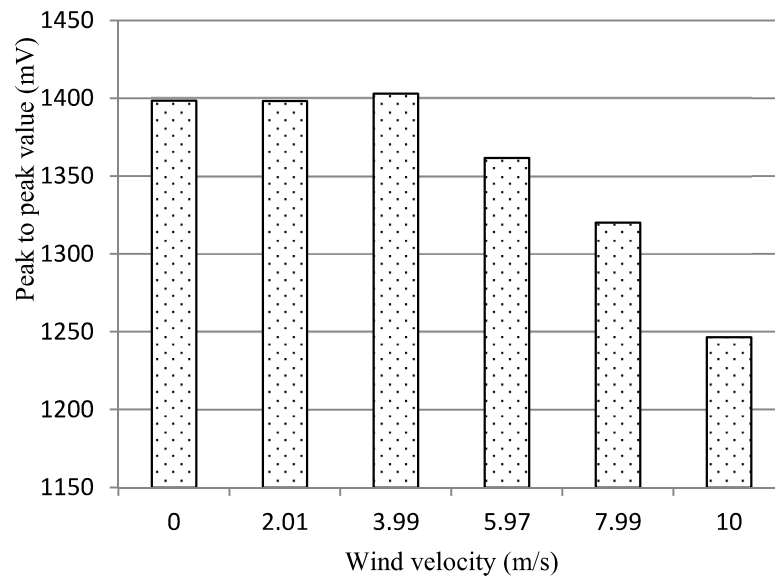


Fig.4 Effect of wind velocity to measure the peak to peak value of concrete surface with roughness $R_a=1.04$ mm

In all the three cases (concrete surface roughness 0.04, 0.32 and 1.04 mm) the effect was almost same. There was almost no or negligible effect up to the wind velocity 4 m/s and after that the peak to peak value was decreased.

4. CONCLUSIONS

It can be concluded that aerial ultrasonic sensor could be used to measure the surface roughness of the concrete made irrigation canal in windy condition. The accuracy of the measurement could be lowered in high windy condition.

ACKNOWLEDGEMENT

This research was funded by the Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries, Japan.

REFERENCES

- Kato T, Honma S, Kitamura K and Imaizumi M. 2008. Deterioration of Irrigation Canals and Change in Roughness Coefficient. Tech. Rep. Natl. List. Rural Eng. Japan. 207:183-193.
- Nakaya T, Tokashiki M, Mori M and Mori T. 2008. Estimation of the Coefficient of Roughness from Surface Characteristics of Abraded Concrete Channel. Transaction of JSIDRE. 258: 23-28.
- Otagaki K, Hasegawa Y, Suzuki T, Matsumoto S and Sato S. 2013. Study on Measurement Method of Surface Roughness of Concrete Canal by Three Dimensional Image Processing. Journal of JSIDRE. 280: 7-13.

空中超音波による開水路の粗度係数測定方法に関する基礎式の提案について

The relation between reflection intensity of aerial ultrasonic wave and Manning's coefficient of roughness.

○小古 貴晃, 岡島 賢治, 石黒 覚, 伊藤 良栄, 長岡 誠也

KOFURU Takaaki, OKAJIMA Kenji, ISHIGURO Satoru, ITO Ryoei, NAGAOKA Seiya

1. はじめに

コンクリート水路の通水機能を評価するにあたり, マニングの粗度係数がよく用いられる. 維持管理の容易さのため, 水路の粗度係数を簡易に測定する手法が必要とされている.

中矢ら(2008)が摩耗による水路表面の凹凸を算術平均粗さで表し, 算術平均粗さと粗度係数との関係式を提案している. また, 長岡ら(2014)は算術平均粗さの安価で面的な測定方法として空中超音波を利用し, 算術平均粗さと空中超音波の反射強度との関係式を提案している. 本研究では, 空中超音波の最大振幅幅を利用した粗度係数を推定する方法を開発することを目的とした.

2. 模型水路実験概要

本研究において用いた水路を図 1, 2 に示す. 水平勾配水路であり, 上流の乱流と下流の堰上げ背水の影響を小さくするため, 中央の区間 8 m を測定区間とした. 水位の計測には, 誤差の除去のために容量式波高計を用いた. 測定間隔は 0.1 秒間隔で 10 秒間行った. 最大流量は $0.0612 \text{ m}^3/\text{s}$ までの測定が可能であり, 電磁式流量計を用いて流量を測定した. コンクリートパネルを水路に取り付け実験を行った. パネルは長さ 1000mm, 幅 450mm, 厚さ 50mm のものを使用した. エネルギー勾配 I_e を(1)式から求め, マニング式(2)から粗度係数 n_m を求めた.

$$I_e = \frac{\left\{ \left(\frac{v_1^2}{2g} \right) + h_1 \right\} - \left\{ \left(\frac{v_2^2}{2g} \right) + h_2 \right\}}{L} \quad (1)$$

$$n_m = \frac{1}{v} R^{\frac{2}{3}} I_e^{\frac{1}{2}} \quad (2)$$

ここで, v :平均流速(m/s), v_1, v_2 :流速(m/s), h_1, h_2 :水深, R :径深(m/s)とする.

3. 粗度係数の推定方法

粗度係数の推定方法を考える. 中矢ら(2008)によると, 換算粗度係数 n_s と算術平均粗さ R_a の関係は以下の(3), (4)式を粗度係数が流れの状態にかかわらず一定であるとき適用しうるとされる.

$$k_s = 2 \times R_a \quad (3) \quad n_s \approx 0.042 k_s^{\frac{1}{6}} \quad (4)$$

ここで, k_s :相当粗度である

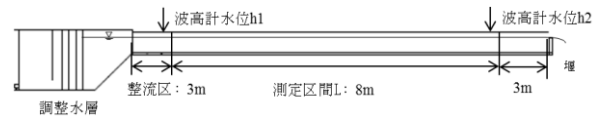


図 1 模型水路縦断面図

Hydraulic profile of experimental channel

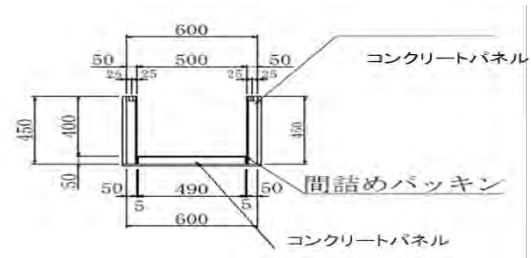


図 2 模型水路正面図

Cross-section view of experimental

また、長岡ら(2014)によると 2 眼の空中超音波センサ(日本セラミック (株) 製 T/R40-16 を使用した時、高さ 0.55m からの測定の場合、最大振幅 y は(5)式であらわされる。

$$y = 1788.8e^{-0.61R_a} \quad (5), \text{ただし } R^2 = 0.7272$$

(5)式および(3), (4)式から、最大振幅 y と換算粗度係数 n_a の次式の関係が導かれる。

$$n_a = -0.134 \log \frac{y}{1788.8} \quad (6)$$

4. 結果と考察

算術平均粗さが 0.0mm のパネルを設置した水路において、流量を $0.01\text{m}^3/\text{s} \sim 0.06\text{m}^3/\text{s}$ まで $0.01\text{m}^3/\text{s}$ ごとに、径深、流速を 4 パターン変化させ計 24 パターンの実験を行った。フルード数を一般の農業用水路と同様に 0.2~0.7 程度に合わせて実験を行った。結果を表 1 に示す。No.3,4,20 のようにフルード数が小さく低流速の場合には、水面勾配が小さくなり計測誤差が過大になったものと思われるため、今回の考察では除去する。実測した平均の粗度係数は 0.0113 となった。

算術平均粗さが 0.0mm の時、(3), (4)式は換算粗度係数 n_s が 0 となってしまう、用いられない。ここで、(5)式より、最大振幅 y を算術平均粗さから推定すると 1788.8mV となる。(6)式から換算粗度 n_a を求めると 0.0079 になった。これは、(3)式、(5)式の近似式を経た値であるために、実測値とは異なる値になった可能性がある。

また、表面の凹凸の形状によって反射の特性が変わることが懸念される。推定される粗度係数に違いが発生する可能性が考えられる。したがって、超音波の最大振幅とマンニングの粗度係数を直接換算できる関係式を導く必要がある。また、実際の水路においては目地の粗度係数に対する影響を考慮しなければならない。目地の与える影響を定量化する必要がある。

5. まとめ

コンクリート水路の通水機能を評価するうえで、相当粗度に算術平均粗さをを用いた場合、算術平均粗さが 0.0mm である時に換算粗度係数を求められない。空中超音波を用いた最大振幅による直接粗度係数を換算できる測定法が有効となりうることが示された。

今後は水理実験を続け凹凸の形状の分類、目地の粗度係数に対する影響を検討していかなければならない。

引用文献

中矢ら(2008): 摩耗したコンクリート水路表面形状からの粗度係数推定手法, 農業農村工学会論文集第 258 号, pp23-28

長岡ら(2014): 空中超音波を用いたコンクリート面の粗さ測定, 農業農村工学会大会講演会講演要旨集, pp668-669

表 1 粗度係数測定結果

The result of experiment

No.	流量(m ³ /s)	径深(m)	均流速(m/s)	フルード数	レイノルズ数	粗度係数
1	0.0103	0.0479	0.3483	0.46	24422	0.0110
2	0.0108	0.0731	0.2091	0.21	14661	0.0164
3	0.0104	0.0953	0.1351	0.11	9473	0.0185
4	0.0105	0.1126	0.1024	0.07	7181	0.0228
5	0.0208	0.0637	0.4884	0.53	34243	0.0107
6	0.0203	0.0847	0.3168	0.28	22211	0.0140
7	0.0207	0.1052	0.2272	0.17	15933	0.0109
8	0.0203	0.1202	0.1752	0.12	12286	0.0104
9	0.0304	0.0751	0.5671	0.55	39759	0.0102
10	0.0304	0.0934	0.4079	0.34	28604	0.0121
11	0.0303	0.1125	0.2964	0.21	20785	0.0113
12	0.0305	0.1290	0.2288	0.14	16040	0.0111
13	0.0421	0.0846	0.6591	0.59	46214	0.0103
14	0.0416	0.1008	0.4926	0.38	34541	0.0117
15	0.0419	0.1187	0.3709	0.25	26004	0.0104
16	0.0417	0.1350	0.2840	0.17	19910	0.0096
17	0.0500	0.0896	0.7171	0.61	50280	0.0106
18	0.0503	0.1060	0.5471	0.41	38357	0.0120
19	0.0501	0.1225	0.4169	0.27	29234	0.0101
20	0.0505	0.1383	0.3263	0.19	22877	0.0056
21	0.0599	0.0965	0.7631	0.61	53501	0.0105
22	0.0612	0.1111	0.6121	0.44	42918	0.0105
23	0.0599	0.1264	0.4684	0.30	32840	0.0112
24	0.0600	0.1265	0.4689	0.30	32874	0.0112

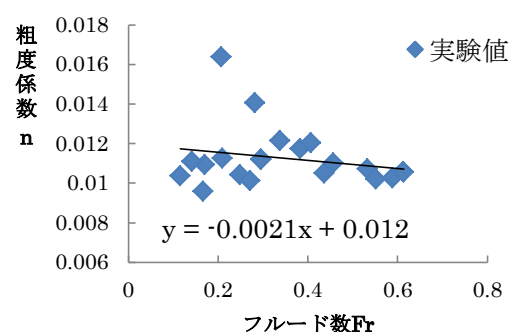


図 3 フルード数と粗度係数の関係
Relationship between Froude number and the coefficient of roughness

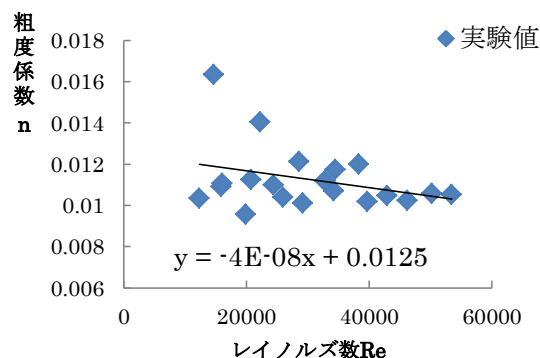


図 4 レイノルズ数と粗度係数の関係
Relationship between Reynolds number and the coefficient of roughness

空気吸収減衰が空中超音波粗さ測定に与える影響

Evaluation of attenuation of ultrasonic during propagation the air to measure concrete surface roughness by the aerial ultrasonic sensor

○長岡 誠也*, 岡島 賢治*, 石黒 覚*, 伊藤 良栄*, 渡部 健**, 伊藤 哲***

NAGAOKA Seiya, OKAJIMA Kenji, ISHIGURO Satoru, ITO Ryoei, WATANABE Ken, ITO Tetsu

1 はじめに

農業用水路では摩耗劣化が主な補修要因として挙げられる。水路の特徴として延長距離が長いこと、調査において簡易・面的・安価な測定法が不可欠であると考えられる。そこで、長岡ら(2014)が簡易で面的な測定が可能な空中超音波測定を提案した。これまでの研究では農業用水路コンクリート表面の粗さを測定するための基礎研究と位置付け、粗さ面測定への適用、測定範囲、センサ法線と測定面のなす角が及ぼす影響、最適なセンサ素子数の決定を行った。しかし、測定現場を想定した場合、環境的な問題が生じることが想定される。長岡ら(2016)は、風速による測定結果への影響を明らかにした。空中超音波は空気中で吸収減衰を起こし、減衰の傾向は温度・湿度・大気圧に依存することが知られている。しかし、ISO9613-1 に規定されている周波数が 50Hz~10kHz で、本研究で用いた 42kHz は範囲外となる。そこで、空気吸収減衰による空中超音波粗さ測定結果に及ぼす影響を実験し、適切な補正方法の検討を本研究の目的とした。

2 空中超音波センサと測定面

センサには、LV-EZ1(MaxBotix.inc)を使用した。ホーンを装着することにより、超音波の広がりを制限し、測定範囲を明確にしている。測定面は遅延剤を用い、人工的に表面を洗い出した摩耗模型コンクリートパネルを 2 枚用いた。

最大粒径 20mm、使用した骨材は碎石で、寸法は 700×700×50mm である。算術平均粗さは 0.04mm と 1.02mm である(以後、0.04mm を滑面、1.02mm を粗面と呼ぶ。)。

3 空気吸収減衰について

空気吸収減衰は ISO9613-1 により規格化されている。超音波の音圧は式(1)より距離に対して指数関数に減衰をする。減衰は減衰係数 $m(1/m)$ で決定される。減衰係数 m は式(2), (3)に示すよう、3 つの減衰係数の和となっている。減衰係数は“温度、湿度、大気圧”および周波数の関数となっている。

$$I = I_0 \exp(-ms) \quad (1)$$

$$\alpha = \alpha_{cl} + \alpha_{rot} + \alpha_{vib} \quad (2)$$

$$m = \frac{\alpha}{20 \log_{10} e} \quad (3)$$

ここで、 I_0 : 補正值 mV, I : 実測値 mV, m : 減衰係数 1/m, s : 伝播距離 m, α : 減衰係数 dB/m, α_{cl} : 古典減衰係数 dB/m, α_{rot} : 回転緩和減衰係 dB/m, α_{vib} : 振動緩和減衰係数 dB/m

4 実験概要と検討項目

温度・湿度・大気圧以外の環境条件を排除するために、測定は屋内で行った。センサカバー面と測定面の距離を 1000mm とし、測定面に対して垂直方向に設置した。空中超音波の最大触れ幅 mV をオシロスコープで取得し、20 回平均の値を用いた。空中超音波測定に並行して、温

*三重大学大学院生物資源学研究科 Graduate school of Bioresources, Mie University

**丸栄コンクリート工業株式会社 Maruei concrete industry Co., Ltd.

***株式会社クロスアビリティ X-ability Co., Ltd.

摩耗劣化, 空中超音波, 空気吸収減衰

度・湿度・大気圧を取得した。湿度と大気圧は測定をして補正式に使用しているが、影響が少ないため議論を行わない。温度による影響が大きいため、温度に着目をして、議論を行った。

まず、様々な環境条件下で最大振幅を取得し、ISO9613-1 に基づいた補正式を適用し補正を行った。次に、滑面と粗面の増減率と温度の関係を検討し、増減率と温度の関係式による減衰補正案を提案した。

3 ISO9613-1 による減衰補正

空中超音波測定によって得られた最大振幅を実測値、補正式によって得られた値を補正值とした。実測値は Figure1 が示すように、温度の増加に伴い、最大振幅が小さくなっていることが確認できた。補正值は Figure1 が示すように、実測値と比べて近似直線の傾きが小さくなっていることから、空気吸収減衰による影響が小さくなったことが確認できた。

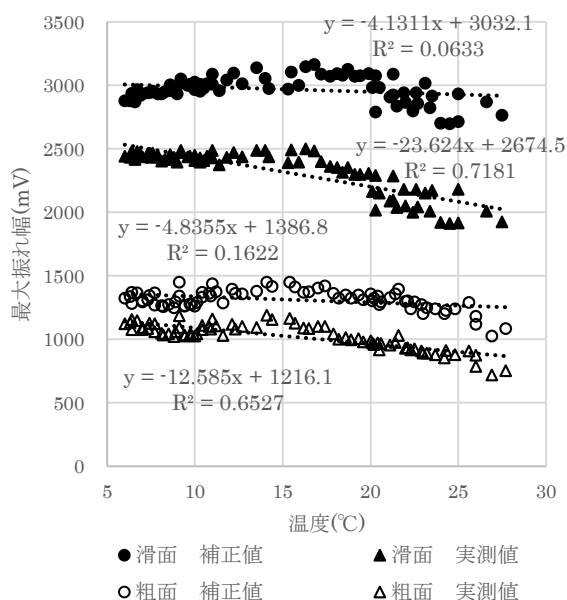


Figure 1 最大振幅と温度の関係

The relationship between the peak to peak value and temperature

4 増減率と温度の関係式による減衰補正案

本研究では 20℃を基準温度として、20 ± 0.5℃の時の最大振幅 3 つの平均値を、基準温

度の最大振幅とした。増減率とは実測値に対する基準温度の最大振幅の割合である。

$$[\text{増減率}] = \frac{[\text{実測値}]}{[\text{基準温度の最大振幅}]} \quad (4)$$

滑面と粗面の増減率を Figure2 に示す。温度による滑面と粗面の増減率はほぼ一致していることが確認できた。そこで、15℃を境界として増減率の傾向が大きく変化することから、温度条件を 2 つに分けて式を求めた。増減率 r と温度 t の関係式を以下に示す。

$$r = 0.0013t + 1.1393 \quad (6 \leq t < 15) \quad (5)$$

$$r = -0.027t + 1.591 \quad (15 \leq t \leq 25) \quad (6)$$

ここで、 r : 増減率, t : 温度(℃)

式(5)および式(6)を用いることで、温度 t から増減率 r を求める。次に、現場で得られた実測値を増減率で割ることで、基準温度の最大振幅へ補正することができる。

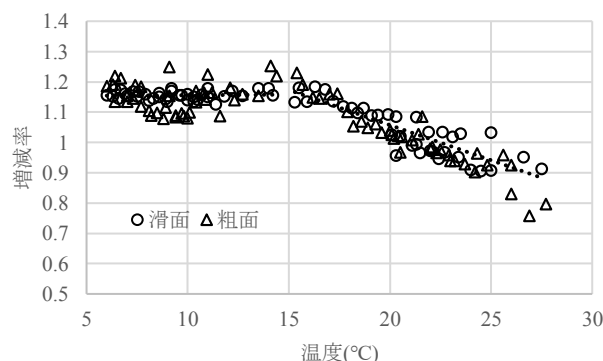


Figure 2 増減率と温度の関係

The relationship between the rate of increase or decrease

まとめ

- ・ ISO9613-1 より 42kHz の超音波の空気吸収減衰の影響を補正することができた。
- ・ 増減率と温度の関係式を用いて基準温度の最大振幅への補正案が示された。

謝辞: 本研究は平成 26 年度官民連携新技術研究開発事業により補助をいただきました。

参考文献

- 1) 長岡ら(2014): 空中超音波を用いたコンクリート面の粗さ測定, 農業農村工学会全国大会講演要旨集, pp.669-669

論文 1 1

水理模型実験による空中超音波センサを用いた粗度係数の推定

Estimation of Manning's coefficient using hydraulic experiment and aerial ultrasonic sensor

○渡邊 真人*, 長岡 誠也**, 岡島 賢治**, 石黒 寛**, 伊藤 良栄**, 渡部健***

WATANABE Masato, NAGAOKA Seiya, OKAJIMA Kenji, ISHIGURO Satoru

ITO Ryoei and WATANABE Ken

1 はじめに

コンクリート水路の通水性能を評価する際、マンニングの粗度係数がよく用いられる。効率的な保全管理を行うため、コンクリート水路の粗度係数を簡易に測定する手法が必要である。中矢ら(2008)は摩耗による水路表面の凹凸から算術平均粗さを求め、算術平均粗さと粗度係数との関係式を提案している。また、長岡ら(2015)は安価で簡便な測定方法として空中超音波を利用し、空中超音波の最大振れ幅から算術平均粗さを求める式を提案している。本研究では、粗さの異なるコンクリートパネルを設置した実験水路を用いて水理模型実験を行い、空中超音波の最大振れ幅から粗度係数を推定することを目的とした。

2 水理模型実験概要

本研究において設計・製作した実験水路の概要図を図-1、図-2に示す。

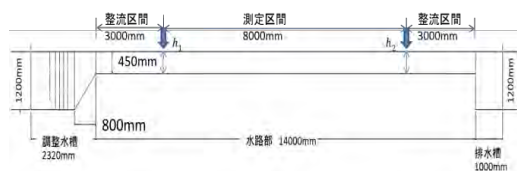


図-1 水路側面図

図-1より、実験水路は延長14mの水平勾配水路であり、コンクリートパネルを設置、取替え可能な構造となっている。給水部の乱れと下流の堰上げ背水の影響を小さくするた

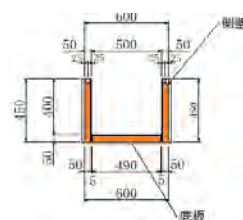


図-2 水路断面図

め、中央の区間8mを測定区間とした。水深計測は非接触型のレーザー式変位計IL-600(KEYENCE

製)を用い、100個の水面変動値を平均したものを水深とした。流量計測は電磁流量計AXF150(横河電機(株)製)により行った。フルード数が通常の農業用水路の範囲内である0.4から0.7程度になるように実験を行った。各流量でエネルギー勾配 I_e を(1)式から求め、マンニングの平均流速公式(2)から粗度係数 n を求めた。

$$I_e = \frac{\left\{ \left(\frac{v_1^2}{2g} \right) + h_1 \right\} - \left\{ \left(\frac{v_2^2}{2g} \right) + h_2 \right\}}{L} \quad (1)$$

$$n = \frac{1}{\bar{v}} R^{\frac{2}{3}} I_e^{\frac{1}{2}} \quad (2)$$

ここで $\bar{v}$:平均流速(ms^{-1}), v_1, v_2 :流速(ms^{-1}), h_1, h_2 :水深(m), L :測定区間長(m), R :径深(m), g :重力加速度(ms^{-2})である。

3 コンクリートパネル

コンクリートパネルは遅延剤を用いて表面に凹凸を設けた。滑面パネル、粗面1パネル、粗面2パネルの3種類のコンクリートパネルを用いた。粗面1パネル(算術平均粗さ0.51)はセメントペースト、細骨材が洗い出された状態のパネル、粗面2パネル

*三重大学生物資源学部 Mie University faculty of Bioresources

**三重大学生物資源学研究科 Mie University Graduate School of Bioresources

***丸栄コンクリート工業株式会社 Maruei concrete industry Co.,Ltd

(算術平均粗さ 1.32) は摩耗の進行により粗骨材が剥離した状態のパネルを想定した。図-2 に示すコンクリート水路の内法の寸法は、400(H)mm, 490(W)mm となるよう製作した。これは、想定される実験パターンのうち最も水深が高くなる 60l/s, フルード数 0.2 の条件で水があふれない寸法である。算術平均粗さの測定はレーザー式変位計 CD33(OPTEX-FA 製)により、1 枚につき 6 か所の算術平均粗さを測定し、平均をそのパネルの代表値とした。

4 空中超音波測定

空中超音波センサは LV-EZ1 (Maxbotic 製) を用いた。1.0m の距離から水理模型実験で用いた 3 種類のコンクリートパネルの底板各 14 枚に、空中超音波を発射し、その反射波の最大振れ幅を測定した。1 つのパネルにつき、測定した 20 個の最大振れ幅の平均をそのパネルの最大振れ幅とした。ここで、平均最大振れ幅は各 14 枚の底板コンクリートパネルの最大振れ幅の平均である。

5 結果と考察

水理模型実験による粗度係数と空中超音波測定による平均最大振れ幅、レーザー式変位計による算術平均粗さを表-1 に示す。

表-1 粗さについての実験結果

	滑面	粗面1	粗面2
粗度係数($m^{-1/3}s$)	0.00108	0.0148	0.162
標準偏差	0.000556	0.000173	0.000148
平均最大振れ幅(mV)	1849	1385.9	931.6
標準偏差	22.82	231.6	183.4
算術平均粗さ(mm)	0.037	0.51	1.32
標準偏差	0.0047	0.12	0.24

コンクリート水路の設計標準値は 0.012 から 0.016 とされている。表-1 の粗度係数によると、この 3 種類のパネルでは供用直後の水路から通水性が不健全な水路を再現できたといえる。

平均最大振れ幅の結果は、滑面パネルの標準偏差が平均値の 1%程度であるのに対し、粗面 1, 粗面 2 パネルでは平均値の 15%以

上であった。算術平均粗さの標準偏差を見ると、粗面 1, 粗面 2 パネルの標準偏差が滑面パネルの標準偏差よりも 25 倍以上大きかった。洗い出し処理により人工的に作成した粗面であるので、粗面 1, 粗面 2 パネルでは同じ種類のパネルでも粗さが異なっていることがわかった。そのため、最大振れ幅の標準偏差が大きくなった可能性が考えられた。

粗度係数と空中超音波による平均最大振れ幅の関係(図-3)から(3)式を得た。

$$y = -5.96 \times 10^{-6}x + 0.0222 \quad (3)$$

ここで、 y :推定粗度係数($m^{1/3}s^{-1}$), x : 平均最大振れ幅(mV)とした。

決定係数が 0.93 と高く、平均最大振れ幅を用いて粗度係数を直接的に精度よく推定できることがわかった。

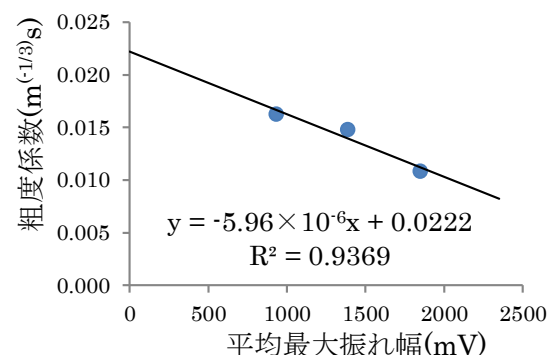


図-3 粗度係数と平均最大振れ幅の関係

6 まとめ

空中超音波の最大振れ幅を用いたコンクリート水路の粗度係数推定式について検討した結果以下の結論を得た。

- 使用した実験水路は供用直後から通水性が不健全な水路までを再現できた。
- 空中超音波センサの平均最大振れ幅を用いて粗度係数を精度よく推定できた。

引用文献

- 中矢ら(2008): 摩耗したコンクリート水路表層形状からの粗度係数推定手法, 農業農村工学会論文集第 258 号, pp23-28
- 長岡ら(2015): 空中超音波によるコンクリート表面粗さ測定の送信・受信素子数による比較検討, 農業農村工学会大会講演会講演要旨集, p676-677

空中超音波法による供用中の農業用水路の粗度係数計測の実用化に向けて
Toward the practical application of roughness coefficient measurement of agricultural channels
under operation by aerial ultrasonic method

○岡島 賢治*, 渡邊 真人**, 長岡 誠也*, 伊藤 良栄*, 渡部 健***
Kenji Okajima*, Masato Watanabe**, Seiya Nagaoka*, Ryouei Ito*, Ken Watanabe***

1. はじめに

コンクリート農業用水路の通水性を評価する指標として一般に粗度係数が用いられているが、竹村ら(2011)は現場水路での粗度係数計測の困難性を指摘している。その困難性を解決するため、現場水路の粗度係数を簡易に測定する手法が求められる。我々は、空中超音波法の反射波の最大振幅からコンクリート面の粗度係数を求める推定法を開発した。しかし、潤辺毎に粗さが異なる供用中の水路、特に堆砂のある水路底面への空中超音波法の適用が検討されていない。本研究では、空中超音波法による農業用水路の粗度係数計測の実用化に向けて、空中超音波法で求めた合成粗度係数の予測値が潤辺で粗さの異なる模型水路実験での粗度係数の実測値を予測できるかの検証と、堆砂した水路底面での空中超音波法の粗度係数の計測条件を明らかにすることを目的とした。

2. 空中超音波法による粗度係数計測法

空中超音波の反射波の最大振幅と粗度係数の関係から推定式を作成する実験を行った。まず、3種類の粗さの発泡スチロールパネルと滑面パネルを使用した模型水路実験により粗度係数計測を行った。次に、各パネルの空中超音波の最大振幅を測定した。超音波センサは LV-Maxsonar-EZ1 (Maxbotic 製) を使用した。パネルに 1m の高さから空中超音波を照射し、1つのパネルにつき 20 個の最大振幅の平均をそのパネルの測定値とした。得られた粗度係数と最大振幅の関係から粗度係数推定式を作成した。

$$y = -8.85 \times 10^{-6}x + 0.0239$$

y : 推定粗度係数 ($m^{-\frac{1}{3}} \cdot s$)

x : 空中超音波の最大振幅 (mV)

3. 合成粗度係数の予測値の検証

3. 1 粗さの異なるパネルを用いた粗度係数実測

供用中の水路の状態をモデル化するために、実験水路に側面と底面で粗さの異なるコンクリートパネルを設置して模型水路実験を行い、粗度係数を実測した。水路部は総延長 14m の水平勾配水路で、上流と下流の流れのみだれの影響を小さくするため、中央の区間 8m を測定区間とした。

Fig.1 は水路の断面図で、側面に滑面パネル、底面に粗面パネルを設置した。粗面パネルは、遅延剤を用いた洗い出し処理によって表面に凹凸を設けた。模型水路実験により平均流速 $v(m/s)$ 、径深 $R(m)$ 、エネルギー勾配 I_e を求め、マンニングの公式から粗度係数の実測値 n を求めた。

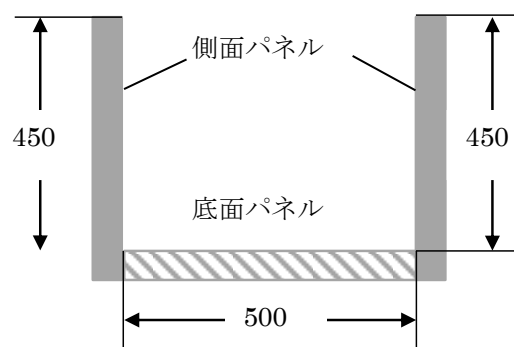


Fig.1 実験水路横断面図

*: 三重大学, Mie University ** : 若鈴コンサルタンツ株式会社, Wakasuzu Consultants Co.,Ltd. ***: 丸栄コンクリート工業株式会社, Maruei Concrete Industry Co.,Ltd キーワード: 空中超音波, 粗度係数, 水路底面

3. 2 粗度係数の実測値と予測値の比較

滑面パネルと粗面パネルにそれぞれ空中超音波を発射し、得られた最大振幅を粗度係数推定式に反映させたところ、粗度係数は滑面で 0.0108, 粗面で 0.0173 となった。潤辺毎で粗さの異なる水路の粗度係数には、合成粗度係数 n_i の式を用いて水路全体の粗度係数を計算できる。

$$n_i = \left(\frac{h \cdot n_s^{1.5} + B \cdot n_r^{1.5} + h \cdot n_s^{1.5}}{B + 2h} \right)^{\frac{2}{3}}$$

ここで B ：水路幅(m), h ：平均水深(m), n_r, n_s ：粗面, 滑面パネルの粗度係数： $(m^{-\frac{1}{3}} \cdot s)$ である。これに滑面, 粗面の空中超音波法による予測値を代入し、粗度係数の予測値 n_i を得た。

模型水路実験で求めた粗度係数の実測値 n と、予測値 n_i を比較した結果を **Table.1** に示す。

4. 堆砂した水路底面における計測条件

堆砂した水路底面において水深が空中超音波に与える影響を把握するための実験を行った。**Fig.2**に実験装置の概要図を示す。3種類の河床材料を用いて、堆砂した水路底面を模擬した測定面を作成した。河床材料の平均粒径は、砂利大で 16.08mm, 砂利中で 9.42mm, 砂利小は 7.02mmであった。単一の河床材料で約 3cm の層を形成し、水の追加と最大振幅の測定を繰り返した。水面が測定面より上に到達した時点で測定を終了した。結果を **Fig.3** に示す。粒径ごとに測定面からの距離でどのように最大振幅が変化するか見るため、水位 0mm (**Fig.3** 中左側) から実験を開始した。どの粒径においても水位上昇開始後しばらくは、水が無いときの最大振幅と比べて最大振幅に変化はないが、水位の増加に伴って最大振幅の増加がみられた。傾向としては、測定面からおおよそ平均粒径の位置に水位が到達した付近から、水面への超音波の反射によって最大振幅の上昇がみられた。よって、堆砂した水路底面の粗さを計測するためには、測定面から平均粒径以下の水位とする必要がある。

5. まとめ

模型水路実験と空中超音波実験から以下の内容が得られた。

- 空中超音波法で求めた合成粗度係数の予測値 n_i は、潤辺ごとに粗さの異なる模型実験水路の粗度係数の実測値を比較的よく再現できた。
- 堆砂した水路底面においては河床材料の平均粒径以下まで水位を下げることで、不陸のない堆砂した水路底面の粗度係数について空中超音波法の利用が可能である。

Table.1 粗度係数の比較

模型水路実験による実測値 n	0.0146
空中超音波法による予測値 n_i	0.0153

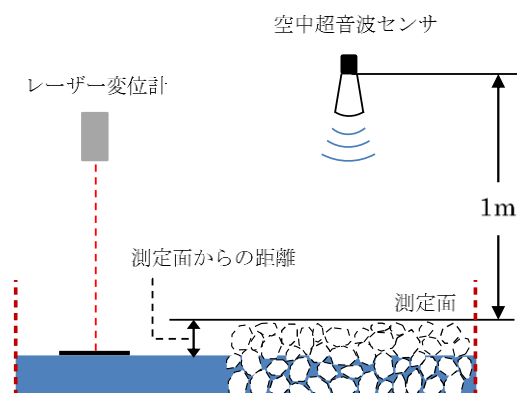


Fig.2 模擬水路底面超音波実験装置概要図

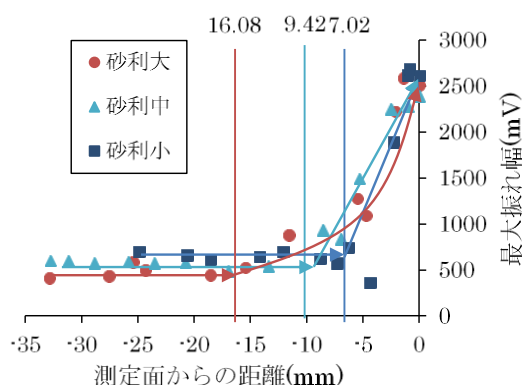


Fig.3 水位上昇と最大振幅の関係

空中超音波粗度係数計測機

取扱説明書

新技術研究開発組合

丸栄コンクリート株式会社

(株) クロスアビリティ

1. はじめに

1. 1 製品の適用範囲

本取扱説明書に記載された機器をご使用いただく場合には、万一機器に故障・不具合などが発生した場合でも重大な事故に至らない用途であることをご使用の条件とします。

また、本取扱説明書に記載のない条件や環境でのご使用はご遠慮ください。

1. 2 使用条件、環境条件

1. 2-1 計測時の環境条件

- ・計測時の気温は、22℃以下での計測を推奨します。

※22℃を超える場合は専用エクセルファイルで補正できます。

- ・計測時の風速は 6m/s 以下での計測を推奨します。

1. 2-2 計測対象面の条件

- ・計測対象面は、50cm×50cm 以上の平らなコンクリート水路壁とします。

※計測領域は中央の直径 30cm の領域となります。

- ・計測対象面の状態は、砥石やデッキブラシ、ワイヤーブラシによりコンクリート水路壁表面の苔等の付着物を確実に取り除いた状態とします。

※ただし、水洗後の湿潤状態でも計測可能です。

1. 2-3 計測機器の設置条件

- ・計測距離は計測面から 1.00±0.01m となるよう空中超音波センサを設置してください。

- ・計測面と超音波センサは垂直（±3 度）となるように空中超音波センサを設置してください。

※これらの条件は、レーザーポインタを指定の印に照射することで確保できます。

1. 3 留意事項・禁止事項

- ・空中超音波粗度係数計測機で水路壁面を計測した値は、あくまで水路壁面の粗度係数であり、水路全体の粗度係数ではないことに留意してください。
- ・禁止事項については、「使用上のご注意」を参照してください。

1. 4 付属品・予備品

1. 4－1 付属品

- ① 一脚
- ② 付属アクリル板（形式指定による）
- ③ 1m 鋼尺

1. 4－2 予備品

- ① 温度・湿度・大気圧計（たとえば, T&D おんどとり TR-73U）

※ 予備品は 22℃以上での計測における補正に使用します.

2. 使用上のご注意

① 計測機は防水仕様ではありません.

濡らさないようにお気を付けください.

② 超音波センサ部は精密機械となっています.

水やホコリの付着がないようお気を付けください.

3. 計測機の概要

空中超音波粗度係数計測機は、平らなコンクリート面に空中超音波を照射しその反射波を受信することで、反射波の出力電圧の強度からコンクリート面の粗度係数を計算し、画面に表示する計測機です。

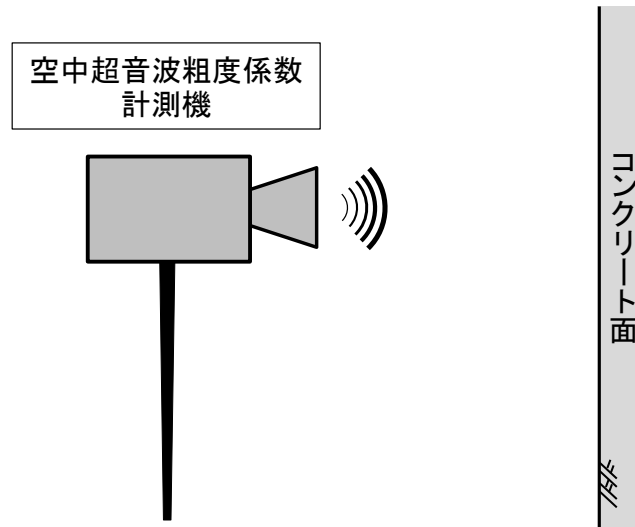


図 3.1 計測イメージ

4. 各部の名称と働き

4. 1 空中超音波計測機

① 電源ボタン

電源の ON と OFF の際に使います。
電源を ON にすると「通常」ディスプレイ表示となります。

② 保存ボタン

計測開始時に使います。
計測終了後、「計測終了」ディスプレイを「通常」ディスプレイに戻すときにも使います。

③ ディスプレイ

計測値・計測結果が表示されます。

④ GPS センサー

GPS 情報受信と時刻情報を取得します。

⑤ SD カード差込口

押し込むことで SD カードを差し込めます。
SD カードを取り出す際はもう一度押し込むことで取り出せます。

⑥ 空中超音波センサー

ホーン内部に空中超音波センサーが設置されています。ここからコンクリート面に超音波を照射します。

⑦ レーザーポインタ

センサーと計測面との距離を 1m かつ、垂直に設置するために使用します。

⑧ レーザーポインタ電源

レーザーポインタの電源スイッチです。

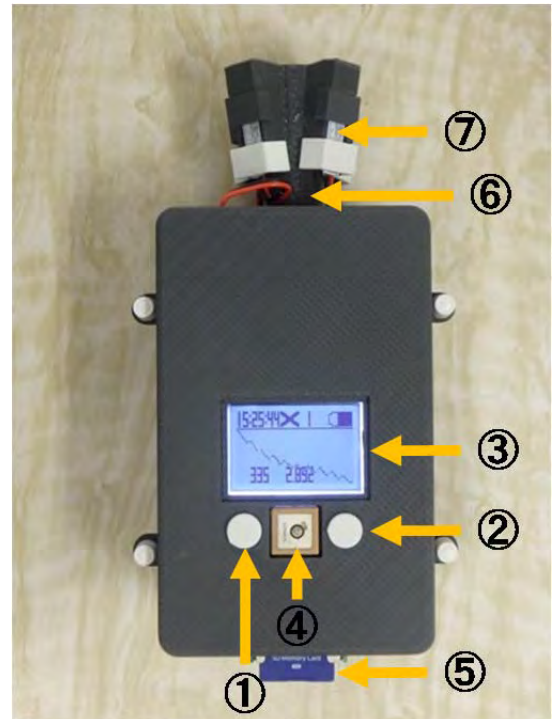


図 4.1 空中超音波粗度係数計測機

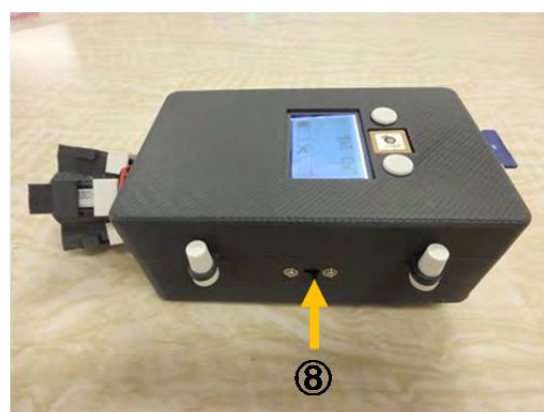


図 4.2 空中超音波粗度係数計測機側面

4. 2 ディスプレイ表示

ディスプレイ表示は、電源を入れたときに表示される「通常」ディスプレイと計測後に表示される「計測終了」ディスプレイの2種類あります。

4. 2-1 「通常」ディスプレイ

「通常」ディスプレイの表示は以下のようになります。

(i) 時刻

(ii) GPS 受信状態

GPS 衛星を受信していない場合は「×」が表示されます。

(iii) 電池残量

電池残量は黒色で表示されます。

(iv) 反射波の最大振幅 (mV)

(v) 反射波の到達時間 (μ 秒)

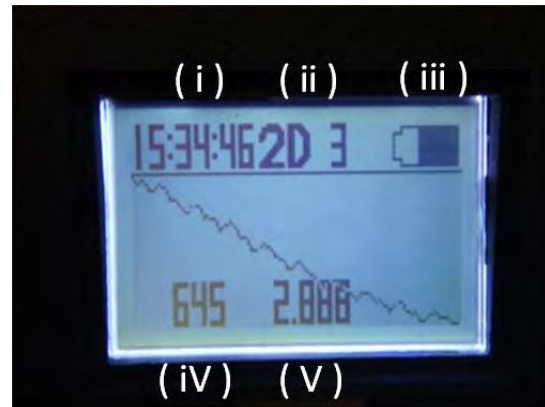


図 4.3 「通常」ディスプレイ

4. 2-1 「計測終了」ディスプレイ

「計測終了」ディスプレイの表示は以下のようになります。

(vi) 保存 No.

(vii) 計測回数

計測値は 20 回の計測値の平均値が表示されます。

(viii) マニングの粗度係数

(ix) 反射波の最大振幅 (mV)

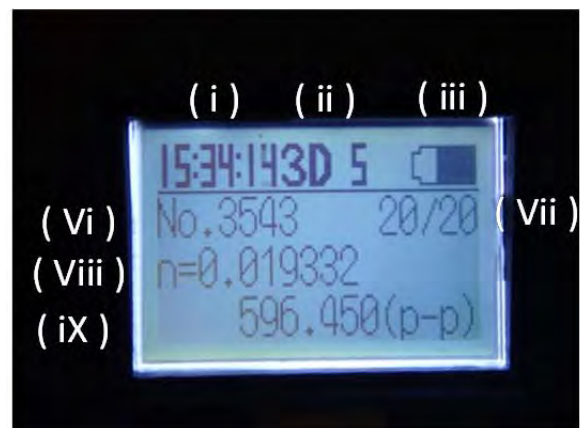


図 4.4 「計測終了」ディスプレイ

4. 3 準備する品・予備品

4. 3-1 準備する品

付属品は、空中超音波粗度係数計測機を用いてコンクリート面の粗度係数を計測する際に必ず必要なものとなります。

① 一脚（付属品）

空中超音波粗度係数計測機を取付け、固定します。市販の一脚を利用できます。

② 付属アクリル板（付属品）

計測するコンクリート面で計測する位置の目印として使います。

③ 1m 鋼尺（付属品）

計測するコンクリート面からの計測距離の目安に用います。市販の直尺を利用できます。

④ マーカー用ペン または チョーク

コンクリート面にレーザーポインタの光を当てる目印を付けるために用います。1 計測ポイントで 5 か所の計測を行いますので 5 色あると便利です。

⑤ デッキブラシまたは高圧洗浄機

計測面の準備に使用します。

⑥ 電池

単 3 電池 × 4 本

※注意

電池は、予備も用意しておくようにしてください。

⑦ 風速計

計測時の風速が 6m/s 以下であることを確認するために使用します。

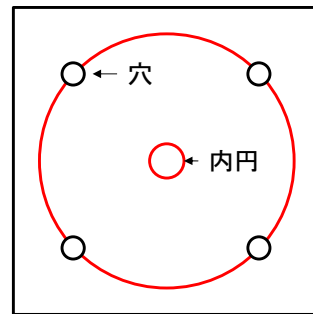


図 4.2 付属アクリル板

4. 3－2 予備品

予備品は、推奨される環境条件以外で計測する際の補正に使用します。

① 温度・湿度・大気圧計

温度と湿度と大気圧を同時に計測できるセンサー。たとえば T&D おんどとり TR-73U など。

5. 粗度係数計測方法

5. 1 計測ポイントの設定

水路のコンクリート面の平均的な粗度係数を求めたい場合は、水路機能診断調査の現地調査（近接目視と計測）において、リバウンドハンマーを使用するための定点で定量計測する計測点を併用します。

平均的な粗度係数は、水路が一様な摩耗状態とみなせる計測ポイントでの計測値の平均値を使用してください。

リバウンドハンマーによる計測点がない場合は、水路が一様な摩耗状態とみなせる区間で、およそ 50m おきの左右岸 1 か所ずつの位置を計測ポイントに設定してください。

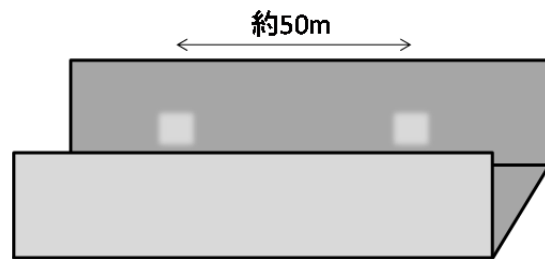


図 5.1 計測ポイントの設定例

※注意

- 計測ポイントは、高圧洗浄またはブラシ等でコンクリート表面の付着物を除去した状態としてください。

ただし、計測時に表面が濡れていても計測可能です。

- 計測ポイントに水路底面を設定することもできますが、**計測面に水たまりがあると計測できません**ので注意してください

5. 2 計測ポイントの計測面準備

計測ポイントは水路側壁に付着しているコケなどを除去してください。

計測ポイントにおける計測面の仕上げは、計測する場所及び周辺(φ800mm程度)を、リバウンドハンマーによる圧縮強度試験と同様に、デッキブラシ、ワイヤーブラシにより表面の苔等の付着物を確実に取り除いた状態としてください。

但し、デッキブラシやワイヤーブラシ等で取り除くことが出来ない場合は、高圧水洗浄(5.0~15MPa)を使用します。

※「簡易な水路補修の手引き」平成 22 年 11 月 全国水土里ネット引用



図 5.2 計測面の洗浄領域

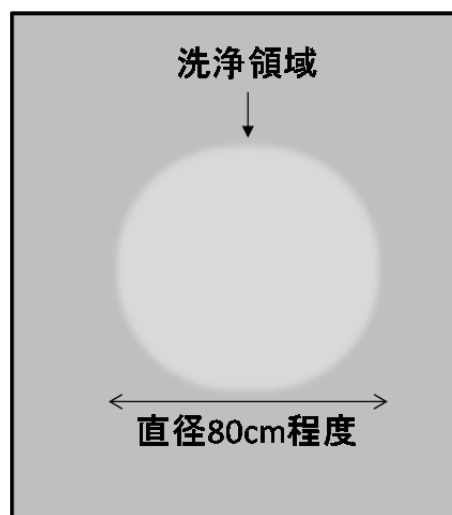


図 5.3 計測面の洗浄領域

5. 3 計測ポイントでの計測位置の設定

各計測ポイントでは、少しずつ位置をずらした最低 5 か所の計測位置を設定し、その平均値を計測ポイントの粗度係数とします。

リバウンドハンマー計測点を利用する場合は 25 か所の打点のうち、中央、左右上下の境界中央の 5 点を中心とした位置(図 5.2)を、空中超音波による粗度係数の計測位置とします。

※注意

5. 4 節の③～⑤の操作で、1 か所の計測位置の計測となります。

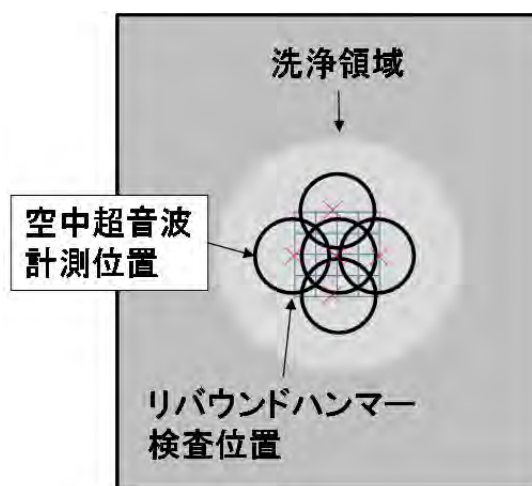


図 5.4 リバウンドハンマー計測点を利用した計測位置の設定

5. 4 空中超音波粗度係数計測機の設置

- ① 電源ボタンを 2 秒ほど押し、電源 ON にします.
- ② GPS を障害するもの（建物など）が少ない場所で受信されるのを待ちます.



図 5.5 電源の ON

- ③ 中心合わせ

付属の亚克力板（図 5.6）の中心が計測位置となるように押さえつけ、穴からマークでコンクリート面に印を 4 つ付けます.

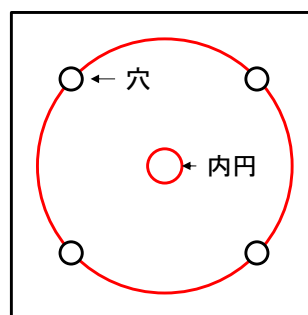


図 5.6 付属亚克力板

次に、亚克力板の内円に計測機器のレーザーポインタが照射されるように計測機器を近づけて一脚の高さを調整します（図 5.7）.



図 5.7 中心合わせ

④ 計測機の設置

水路底に水路に直交するように 1m 鋼尺をおき，鋼尺を目安に 1m 離れた位置に一脚を設置します（図 5.8）。



図 5.8 計測機の設置

一脚の高さを変えずに，レーザーポインタの 4 つの光が「中心合わせ」で付けた 4 つのマーカの印に重なるように計測機を調整する（図 5.9）。

レーザーポインタの 4 つの光がマーカの印と重なることで，1m の計測距離とコンクリート面から垂直な計測条件を確保します。計測期間中できる限りすべての点が重なるように保持してください。

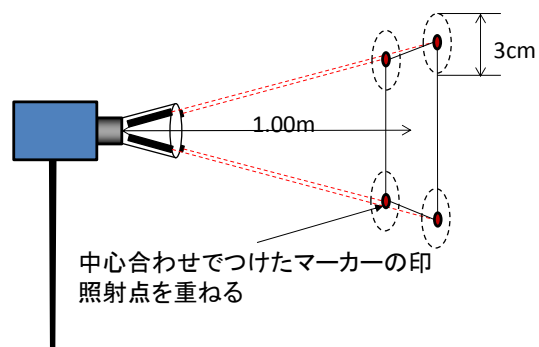


図 5.9 レーザーポインタとマーカの印合わせ

※注意

レーザーポインタの 4 つの光とマーカ印は，できるだけ正確に重なることが望ましいですが，計測期間中 3cm 程度のずれまでであれば比較的精度の良い計測結果が得られます。

⑤ 粗度係数計測機による計測

計測機が設置できたら「保存ボタン」を2秒ほど長押し, 計測をスタートさせます.

右上に表示されるカウンターが 20 になるまでレーザーポインタの 4 つの光とマーカの印が重なるように保持してください.

計測はおおよそ 20 秒で終了します.

計測が終了したら, 再度「保存ボタン」を2秒ほど長押し, 「通常」ディスプレイに戻します.



図 5.10 計測の開始と終了時に押す保存ボタン

⑥ 計測位置をずらした計測

5. 2 で設定した計測位置で, ③～⑤の操作を繰り返します.

※注意

マーカは同色を使用するとレーザーポインタの照準の際に混同することがあります.

番号を振るか, 色を変えながらマーカの印を混同しないよう注意してください.

6. データの補正

6. 1 概要

気温が 22 度を超える条件下での計測では、計測結果を温度補正する必要がある。計測時の気温が 22 度を超える場合は、気温、湿度、大気圧をおんどとりで記録するか、野帳に記録してください。

温度補正は、音波の空気吸収減衰による補正を行います。

空気吸収減衰は ISO9613-1 により規格化されています。超音波の音圧は式(1)より距離に対して指数関数に減衰します。減衰は減衰係数 m (1/m) で決定されます。なお、減衰係数 m は式(2), (3)に示すよう、3 つの減衰係数の和となっています。回転緩和減衰係数と振動緩和減衰係数は“温度、湿度、大気圧” および周波数の関数です。

$$I = I_0 \exp(-ms) \quad (1)$$

ここで、 I_0 : 補正值(mV), I : 実測値(mV), m : 減衰係数(1/m), s : 伝播距離(m)

$$\alpha = \alpha_{cl} + \alpha_{rot} + \alpha_{vib} \quad (2)$$

$$m = \frac{\alpha}{20 \log_{10} e} \quad (3)$$

ここで、 α : 減衰係数(dB/m), α_{cl} : 古典減衰係数(dB/m) , α_{rot} : 回転緩和減衰係(dB/m), α_{vib} : 振動緩和減衰係数(dB/m)

6. 1 補正方法

①S-D カードをパソコンに挿し、補正したいフォルダ内の CSV ファイルを開きます。

②「補正.xlsm」ファイルを開きます。

※ 補正.xlsm ファイルは、VBA を使用します。マクロを有効にしてください。

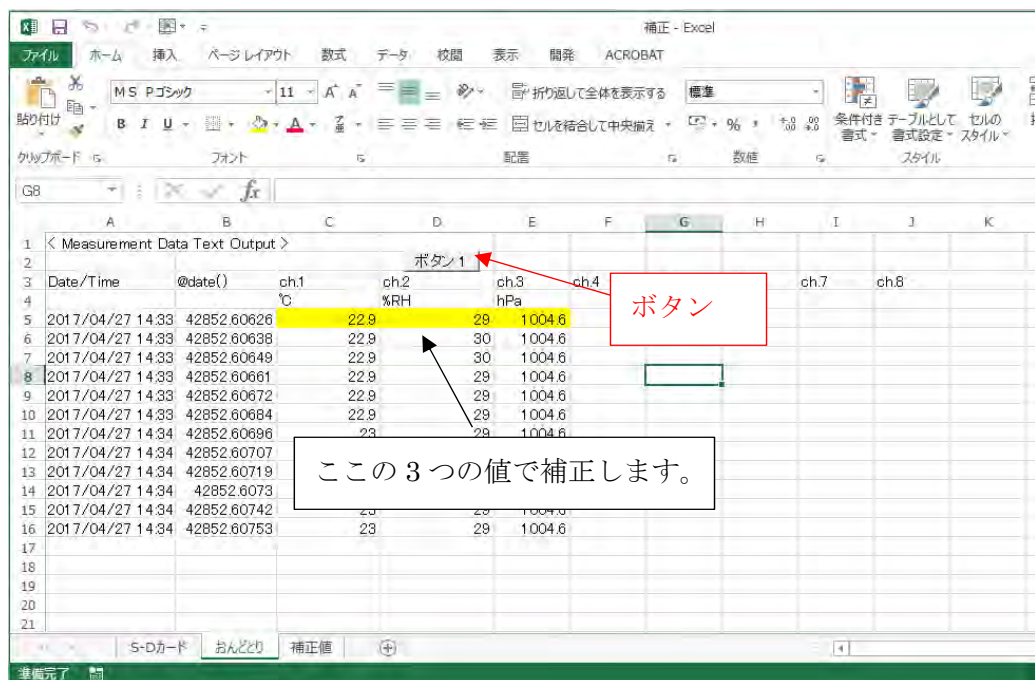
③「補正.xlsm」ファイルの「S-D カード」タブを押して、S-D カードのワークシートを開きます。S-D カードのワークシートに、S-D カードの補正したいフォルダに記録されている CSV ファイル中のデータを貼り付けます。

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1	No.	時刻	粗度係数	p-p	p-p01	p-p02	p-p03	p-p04	p-p05	p-p06	p-p07	p-p08	p-p09	p-p10
2	3569	5:16:18	0.021408	361.45	363	328	410	372	474	418	323	322	316	324
3	3570	5:16:52	0.018528	687.45	614	631	608	635	676	656	674	722	718	708
4	3571	5:17:26	0.019905	531.55	576	545	446	455	434	404	385	427	520	504
5	3572	5:18:00	0.020053	514.8	517	581	576	571	580	629	609	572	545	572
6	3573	5:18:34	0.019769	547	673	612	598	640	598	528	469	452	436	480
7	3574	5:19:08	0.019489	578.65	478	375	438	596	637	585	711	658	670	532
8	3575	5:19:42	0.017649	787.05	692	690	799	790	801	784	670	756	748	749
9	3576	5:20:16	0.016372	931.6	826	849	933	1004	634	665	825	895	895	992
10	3577	5:20:50	0.012093	1416.1	1481	1335	1431	1398	1443	1314	1461	1406	1185	1310
11	3578	5:21:24	0.013389	1269.35	1343	1419	1440	1396	1379	1291	1380	1368	1293	1289
12	3579	5:21:58	0.013815	1221.05	1394	1261	1111	1223	1149	1251	1242	1208	1060	1157
13	3580	5:22:32	0.013213	1289.3	1255	1320	1337	1215	1290	1236	1315	1238	1315	1264
14	3581	5:23:06	0.013092	1303	1378	1325	1288	1236	1179	1212	1277	1306	1304	1302
15	3582	5:23:40	0.012051	1420.8	1387	1411	1361	1359	1396	1409	1537	1485	1412	1308
16														
17														
18														
19														
20														
21														

④「補正.xlsm」ファイルの「おんどとり」タブを押して、おんどとりのデータを貼り付けるか、野帳に記録した温度、湿度、大気圧のデータを黄色の箇所に記入します。

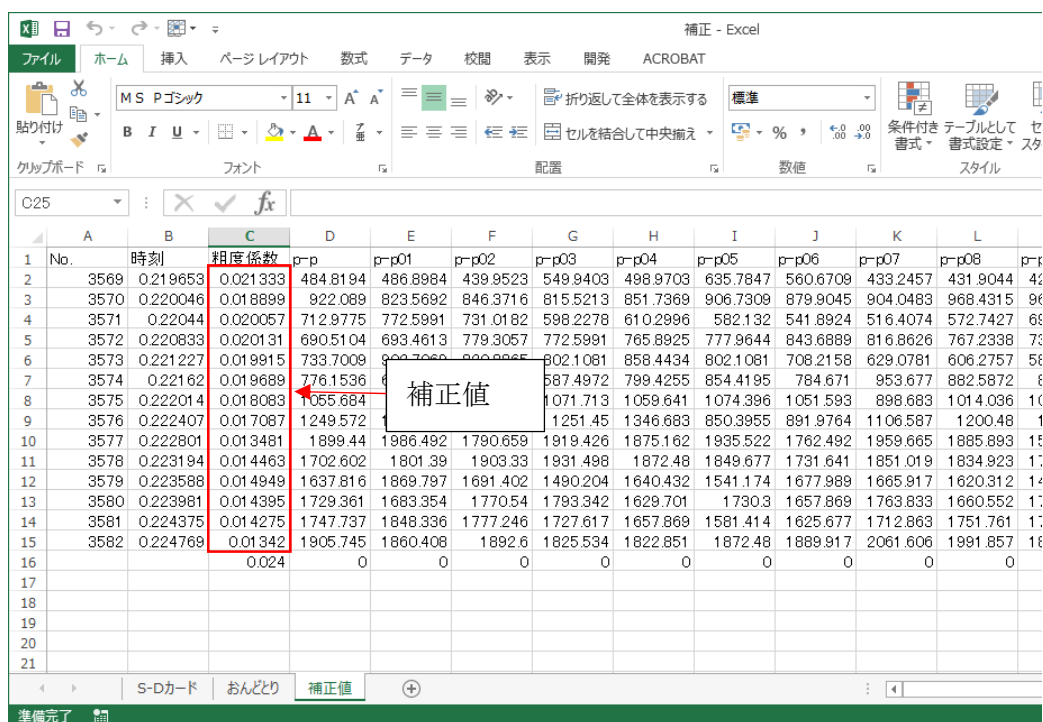
※ おんどとりデータを貼り付けた場合も、1行目の温度、湿度、大気圧データで補正しますので、代表的な温度、湿度、大気圧データを1行目に貼り付けてください。

⑤「補正.xlsm」ファイルの「おんどとり」のワークシート2行目にある「ボタン1」を押してください。



⑥「補正.xlsm」ファイルの「補正值」タブを押すと、補正值が出力されています。

※ 続けて補正作業をする場合は、補正值を別のエクセルファイルにコピーして、数値をクリアしてください。



7. 仕様

① 精度

±1.1% (滑面)

±16.0% (粗面 算術平均粗さ 0.5mm)

※注意

計測結果にばらつきが生じる場合は、5 回以上の計測を行い、最大値および最小値を除いた 3 回の平均値を使用することを推奨します。

② 風速範囲

平均風速 0～6 (m/s)

※注意

平均風速 6m/s 以上での計測は計測結果が小さくなる誤差が発生する可能性があるの
でお控えください。

③ 温度、湿度

最適条件 20℃, 50%

※注意

高温高湿の状況下では粗度係数が大きくなる誤差が発生する可能性があります。

④ 計測距離範囲

1.00m±0.01m

※注意

±0.05m の場合でも、計測結果は±10%の誤差で収まります。

⑤ 計測領域

1m の計測距離で、空中超音波センサーとコンクリート面の直交点を中心に、直径約
300mm の領域

※注意

計測領域に付着物やジャンカ（豆板）などがあると計測値に影響を与えます。

⑥ 計測角度

空中超音波発生方向とコンクリート面が垂直から 3° 以内

※注意

計測面との角度が大きくなると粗度係数が小さくなる誤差が発生する可能性があります。
ます。