

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.

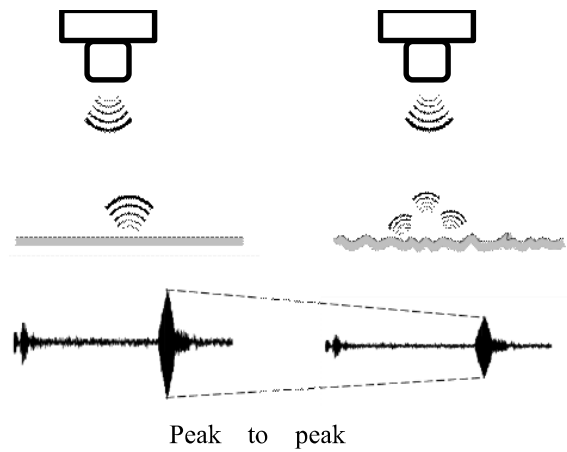


Fig.1 The measurement principle of the ultrasonic sensor

It is generated a uniform wind. Stepwise adjust the wind speed (0 ~ 10m / 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 ~ 20m / s.



Photo2. Photographic view of the Experiment set-up

3. RESULTS AND DISCUSSION

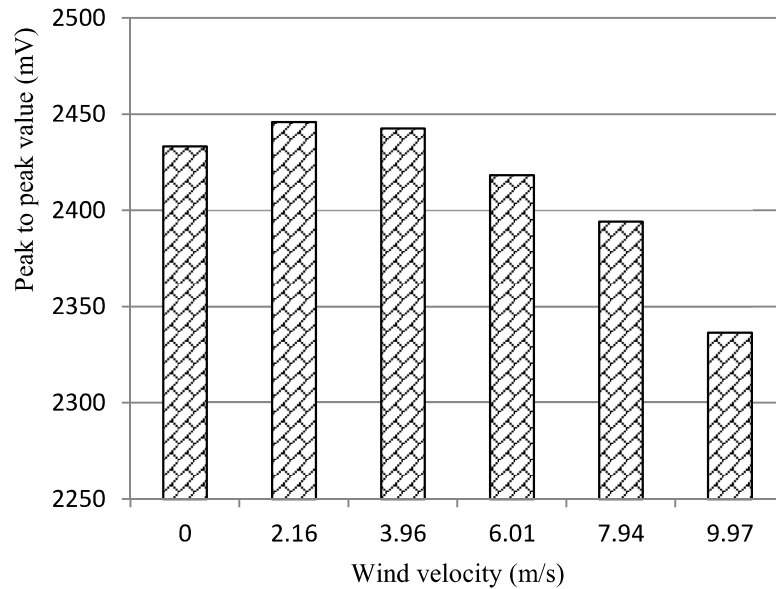


Fig.2 Effect of wind velocity to measure the peak to peak value of smooth concrete surface

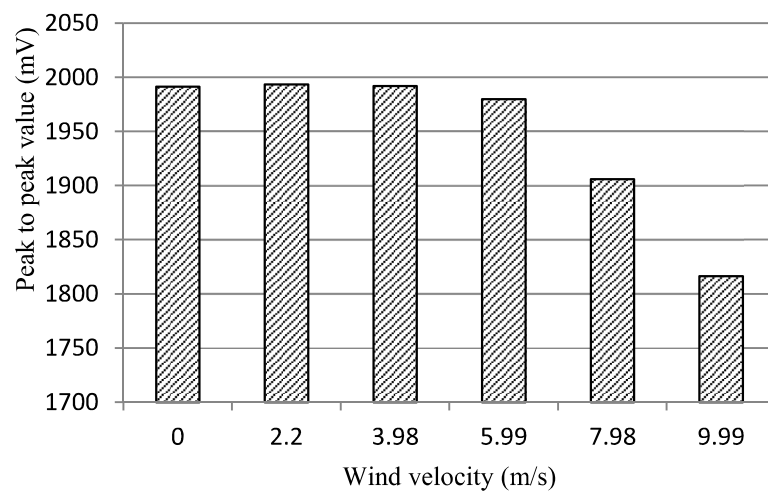


Fig.3 Effect of wind velocity to measure the peak to peak value of concrete surface with roughness $R_a=0.32$ mm

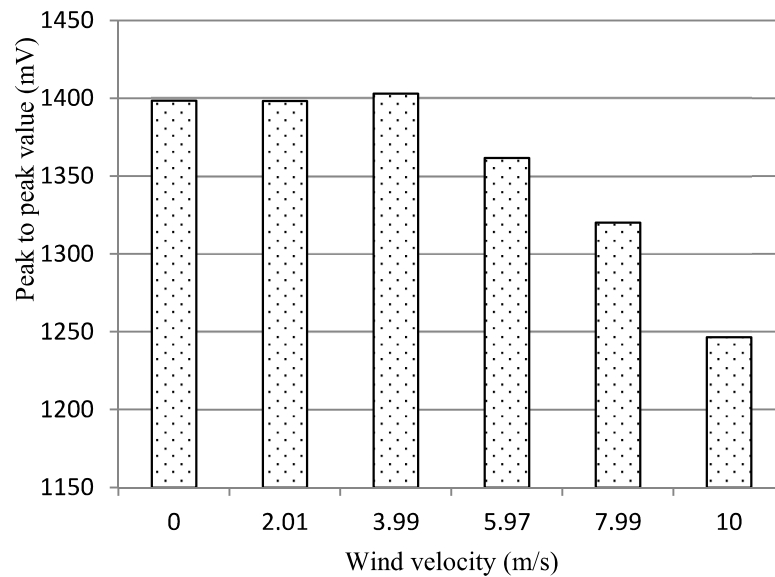


Fig.4 Effect of wind velocity to measure the peak to peak value of concrete surface with roughness $R_a=1.04$ mm

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

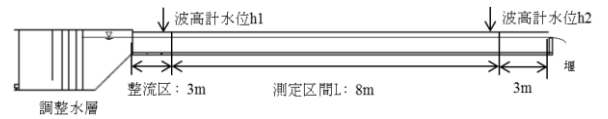


図 1 模型水路縦断面図

Hydraulic profile of experimental channel

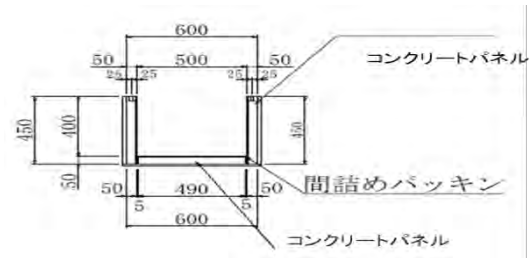


図 2 模型水路正面図

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	28004	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

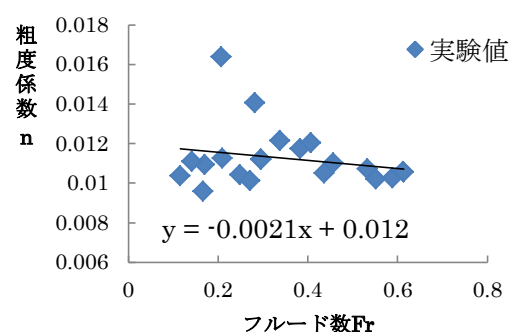


図 3 フルード数と粗度係数の関係
Relationship between Froude number and the coefficient of roughness

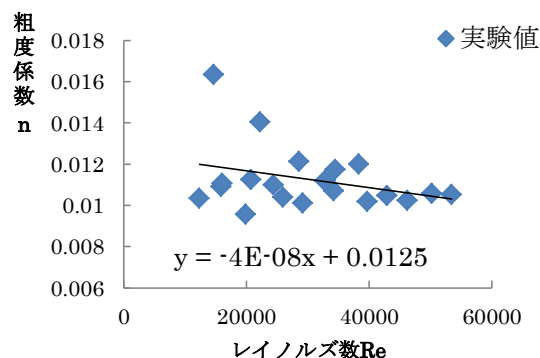


図 4 レイノルズ数と粗度係数の関係
Relationship between Reynolds number and the coefficient of roughness

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。

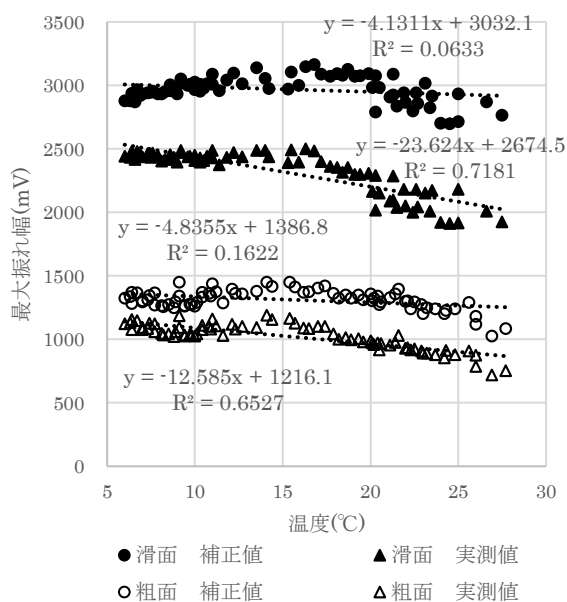


Figure 1 最大振幅と温度の関係

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。

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

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

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。

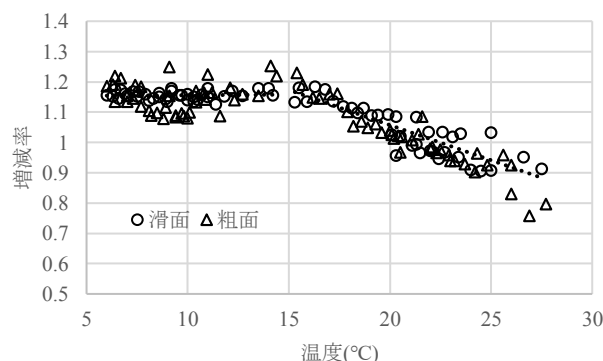


Figure 2 増減率と温度の関係

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