

農業水利施設の機能保全に関する
調査計画の参考資料
(案)

計 画 編

平成 3 0 年 3 月

農業水利施設の機能保全に関する調査計画の参考資料（計画編）

目 次

I 計画編

1. 総 則	計ー	1
1.1 目的	計ー	1
1.2 適用範囲	計ー	2
1.3 スtockマネジメントの流れと本資料の位置づけ	計ー	3
1.4 関係者間での情報共有と対策実施の役割分担	計ー	5
2. 機能診断	計ー	6
2.1 農業水利システム全体の機能診断	計ー	6
2.1.1 農業水利システム全体の機能診断における着目点	計ー	6
2.1.2 農業水利システム全体の機能診断時の手順と内容	計ー	6
2.1.3 耐震診断	計ー	7
2.2 日常管理	計ー	13
2.2.1 基本事項	計ー	13
2.2.2 日常管理の留意点	計ー	13
2.3 事前調査（既存資料の収集整理等）	計ー	14
2.3.1 既存資料の収集整理	計ー	14
2.3.2 施設管理者からの聴き取り	計ー	15
2.4 農業水利施設の重要度評価	計ー	18
2.5 構造物の劣化要因の推定	計ー	27
2.5.1 開水路・頭首工・用排水機場・水路トンネルの場合	計ー	27
2.5.2 パイプラインの場合	計ー	40
2.6 機能診断調査計画の立案	計ー	45
3. 機能診断評価（現地調査結果に基づく健全度評価）	計ー	46
3.1 機能診断評価	計ー	46
3.1.1 土木施設の機能診断評価	計ー	47
3.1.2 施設機械設備の機能診断評価	計ー	48
3.2 機能診断評価の方法	計ー	51
3.3 機能診断評価の基準	計ー	59
3.4 管理水準の設定	計ー	60
3.5 診断結果のグルーピング	計ー	62
4. 施設状態の将来予測	計ー	64
4.1 劣化予測の目的	計ー	64

4.2	劣化予測手法の種類と適用性	計ー	65
4.3	単一劣化曲線モデル	計ー	66
4.3.1	単一劣化曲線モデルの適用方法	計ー	67
4.3.2	複数回の機能診断データがあった場合の対応	計ー	68
4.4	その他の劣化予測モデル	計ー	70
4.4.1	コンクリート部材の中性化進行予測	計ー	70
4.4.2	コンクリート部材の塩分拡散予測	計ー	71
4.4.3	梁部材等の疲労破壊予測	計ー	73
4.5	パイプラインにおける性能低下予測（対策実施時期の設定）	計ー	74
4.5.1	状態監視保全における性能低下予測	計ー	74
4.5.2	時間計画保全における対策時期の設定	計ー	76
5.	鉄筋・無筋コンクリート構造物の機能保全対策の検討	計ー	81
5.1	対策工法の選定の考え方	計ー	81
5.1.1	対象構造物の要求性能の設定	計ー	82
5.1.2	変状の原因と対策工法の目的の検討	計ー	83
5.1.3	設計・施工条件の検討	計ー	84
5.2	機能保全対策工法の種類と仕様	計ー	85
5.3	機能保全対策工法の抽出・絞り込み	計ー	86
5.3.1	健全度ランクと機能保全対策	計ー	86
5.3.2	ひび割れタイプから見た対策工法	計ー	88
5.3.3	劣化機構と工法選定	計ー	89
5.3.4	専門的調査と対策工法選定	計ー	96
5.3.5	対策工法の比較	計ー	99
5.3.6	新技術の取り扱いについて	計ー	99
5.3.7	耐用年数・機能保全対策の効果の持続性について	計ー	100
5.3.8	経済性の算定（工事費積算）について	計ー	100
5.3.9	総合評価について	計ー	100
5.3.10	鉄筋・無筋コンクリート構造物の主な対策工法	計ー	100
6.	パイプラインの対策工法の検討	計ー	101
6.1	対策工法の選定の考え方	計ー	101
6.1.1	対象構造物の要求性能の設定	計ー	103
6.1.2	変状の原因と対策工法の目的の検討	計ー	104
6.1.3	設計・施工条件の検討	計ー	105
6.2	機能保全対策工法の種類と仕様	計ー	105
6.2.1	パイプラインの主な対策工法	計ー	105
7.	施設機械設備の対策工法の検討	計ー	106
7.1	対策工法選定の考え方	計ー	106

7.1.1 当面必要となる対策の検討	計-106
7.1.2 機能保全対策を検討する範囲	計-107
7.1.3 長寿命化の検討	計-107
7.1.4 留意する事項	計-107
8. 保全対策シナリオの検討	計-108
8.1 保全対策シナリオとは	計-108
8.2 保全対策シナリオと劣化予測の関係	計-111
8.3 保全対策の同期化とシナリオ作成	計-113
9. 機能保全コストの算定	計-114
9.1 機能保全コストの考え方	計-114
9.2 機能保全コストの算定の手順	計-115
9.2.1 現在価値化と割引係数とは	計-117
9.2.2 支出済費用換算係数（過去の支出に対しての換算方法）	計-118
9.2.3 機能保全コスト算定における残存価値の取り扱い	計-119
10. 施設監視	計-120
11. 機能保全計画の策定	計-124
11.1 個別施設の機能保全計画の策定	計-124
11.1.1 個別施設における機能保全計画検討の手順	計-124

I 計画編

1. 総 則

1.1 目的

農業水利施設の適切な機能保全とライフサイクルコスト（以下「LCC」という。）の低減に向けて、定期的な機能診断および継続的な施設監視に基づく適時適切な機能保全対策の実施により、リスク管理を行いつつ、既存施設の有効活用と施設の長寿命化を図る取組の推進が求められている。

農業水利施設の機能保全に関する調査計画の参考資料は、これらの背景を踏まえ、これらの活動に必要な、機能診断調査、機能診断評価、対策工法の選定、機能保全コストの算定、機能保全計画の策定などの手順や具体的な方法を取りまとめたものである。

【解説】

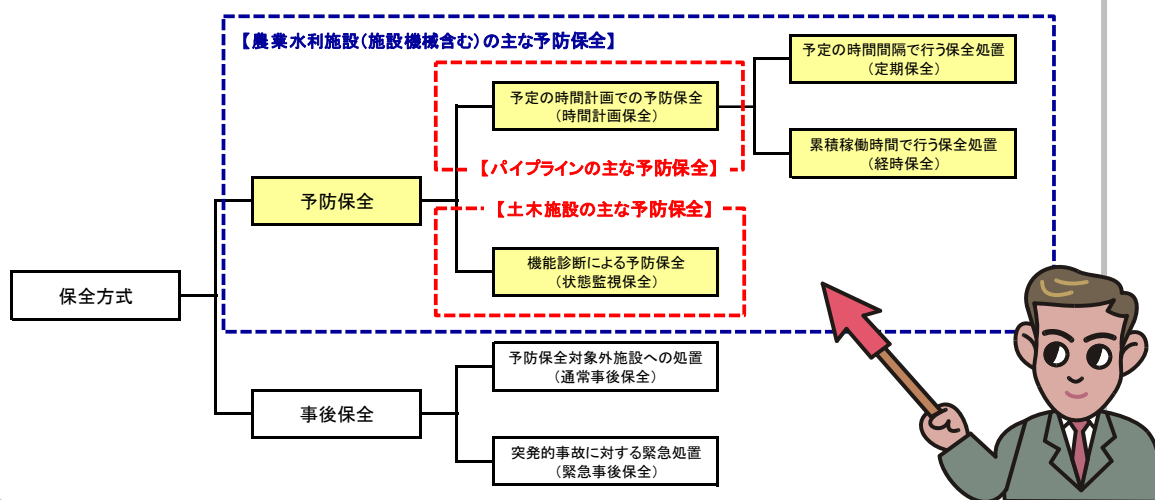
本資料は、「農業水利施設の機能保全の手引き」に示される農業水利施設のストックマネジメントにおける「日常管理（施設監視）」、「機能診断」、「劣化予測」、「対策工法の検討」、「機能保全コストの算定」及び「機能保全計画の策定」の各段階について、施設管理の担当者がこれらを運用するための考え方や手順を提示・解説するものである。

予防保全と事後保全

ストックマネジメントでは、施設の長期的な機能の維持・保全とライフサイクルコストの観点から保全対策を検討実施します。

すなわち、現時点で性能低下は発生していなくとも、将来的に性能が低下する可能性があり、現時点で対策を実施した方が、ライフサイクルコストを低減できると判断された場合に、実施する対策が予防保全対策です。このまま放置しておいて、性能が低下して、機能に障害が生じてから実施する対策が、事後保全になります。

国営造成施設等比較的規模の大きい施設では、予防保全（補修・補強）を行い、施設をできるだけ延命化させた方が、ライフサイクルコストが安くなる傾向があります。



1.2 適用範囲

本資料は、国営事業及び国庫補助事業で造成した施設の機能保全全般の実施に適用するが、主に広域基盤整備計画調査や国営造成水利施設保全対策指導事業等において、機能診断調査・評価並びに機能保全計画の策定への適用を想定する。

【解説】

本資料は、主に広域基盤整備計画調査、地域整備方向検討調査、地区調査及び国営造成水利施設保全対策指導事業等の調査計画・管理において、施設の長寿命化を図ることを目的に対象施設の保全データを蓄積し、これに基づく機能保全計画を策定する手法の実務の参考にすることを想定している。

なお、本資料で使用する用語については、「農業水利施設の機能保全の手引き」の「用語の定義」に準じて記述している。

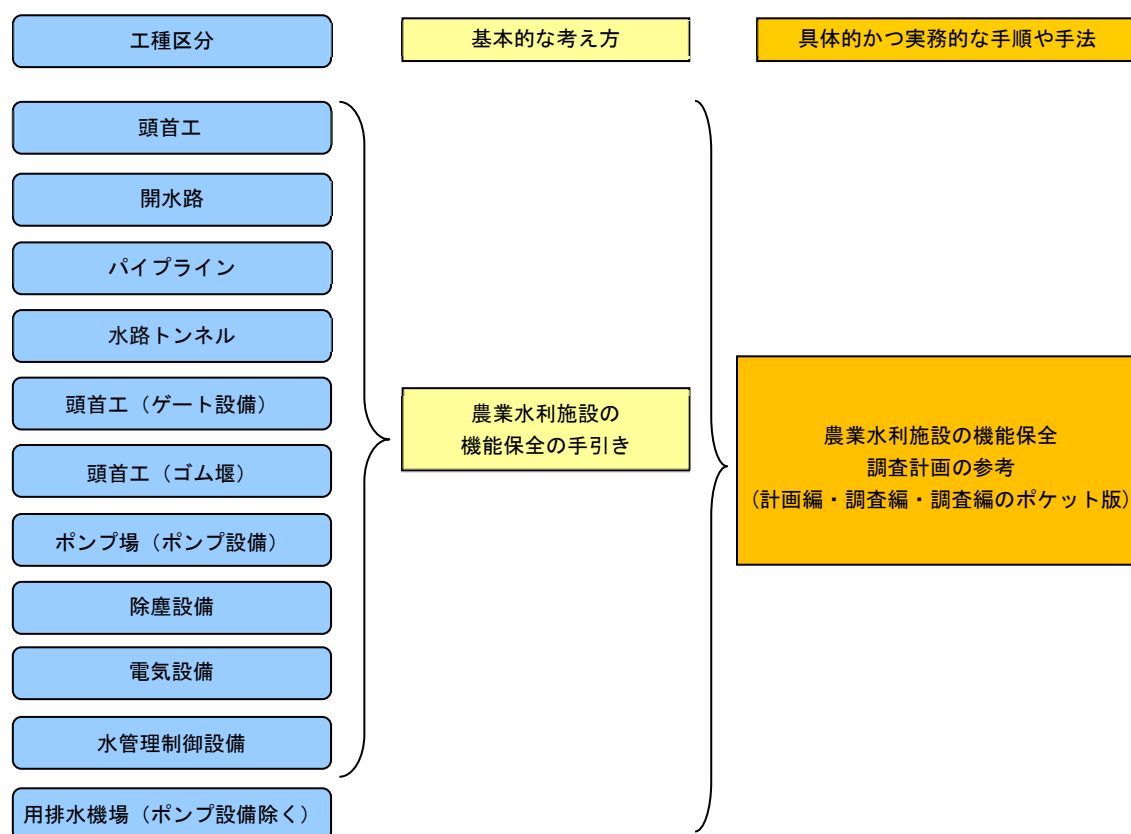


図-1.2.1 農業水利施設の機能保全調査計画の参考の対象施設

1.3 スtockマネジメントの流れと本資料の位置づけ

ストックマネジメントの基本的な流れは、管理者による適切な日常管理（施設監視）から、定期的な技術的な観点からの機能診断、機能保全計画の策定、計画に基づいた施設監視や対策工事の実施を繰り返すサイクルと、その過程で得られるデータの蓄積と利用である。

本資料は、これらのストックマネジメントを実施する上で、機能診断から機能保全計画策定までの作業について、具体的な手順と手法を示すものである。

なお、農業水利施設の機能保全調査計画の参考は、計画編と調査編で構成する。計画編では、ストックマネジメントの計画の流れを示す。調査編では、土木構造物（開水路、水路トンネル、パイプライン、頭首工、用排水機場）、施設機械設備（ゲート設備、ゴム堰、ポンプ設備、除塵設備、電気設備、水管理制御設備）の各施設について機能診断の具体的な手法を示す。

【解説】

図-1.3.1 にストックマネジメントの実施フローと本資料の位置づけを示す。

本資料は、国営造成水利施設保全対策指導事業等により実施する機能診断調査及び機能保全計画の策定の具体的な手順と手法を示すが、劣化予測及び対策実施パターンの検討については、未だデータの蓄積が十分ではないため、試行を行いながら、データを蓄積し、精度の向上に努める。

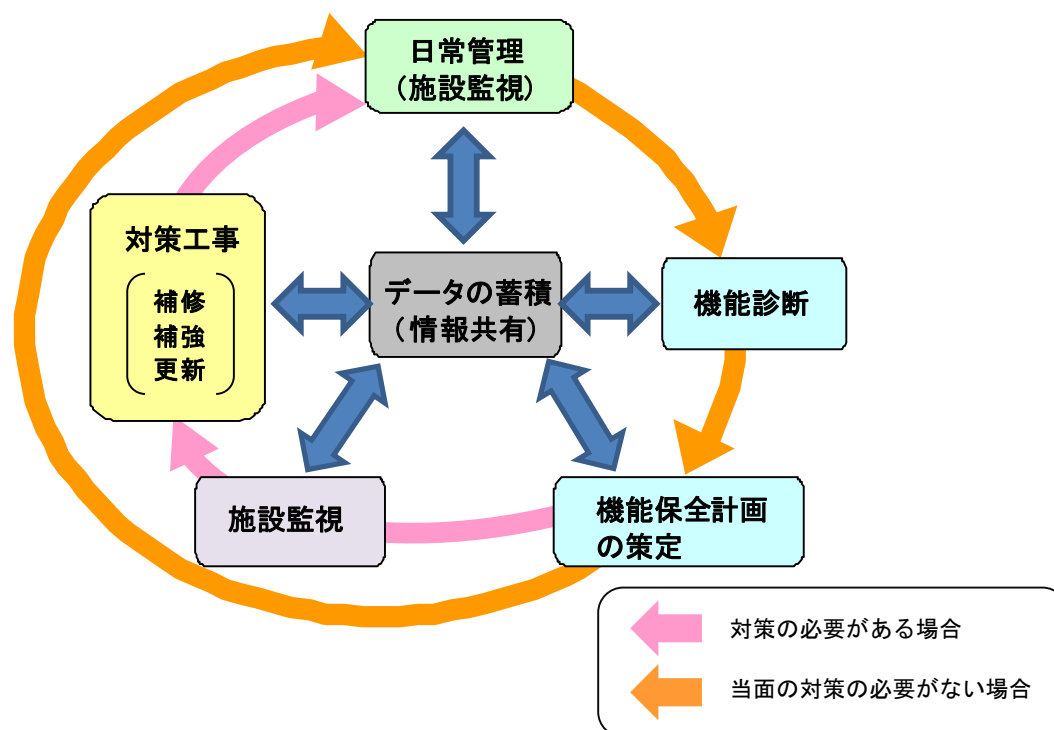


図-1.3.1 スtockマネジメントのサイクル

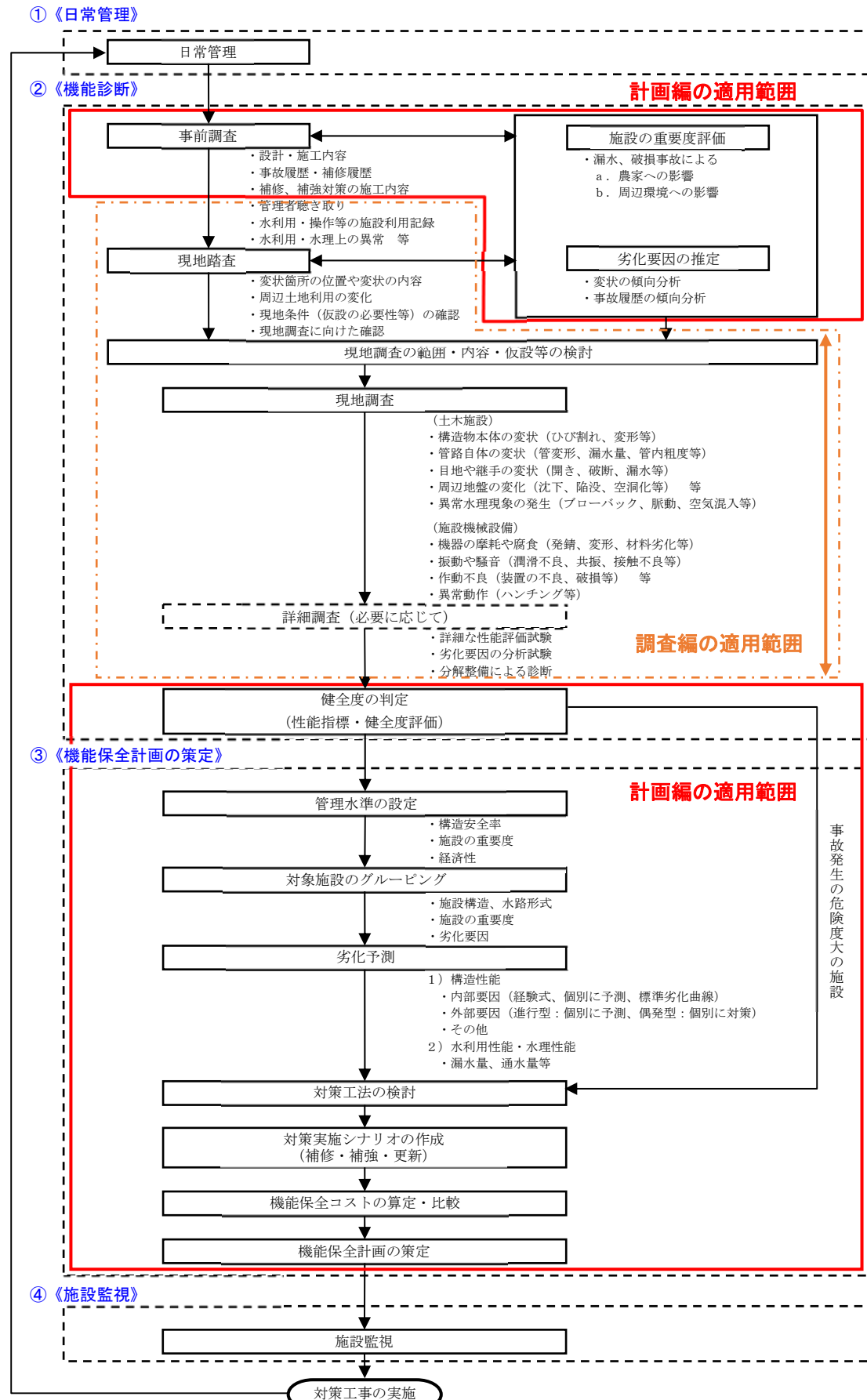


図-1.3.2 スtockマネジメントフローと本資料の位置づけ

1.4 関係者間での情報共有と対策実施の役割分担

機能保全対策を検討・実施しようとする場合は、施設造成者、施設管理者等の関係者間で情報を共有するとともに、適切な役割分担の下に合意形成を図ることが必要である。

【解説】

農業水利施設は、造成主体（財産所有者）、更新事業の事業主体、維持管理主体が異なる場合が多く、日常点検、施設監視、機能診断から対策工事に至るストックマネジメントの各プロセスにおいて、マネジメント主体が多面的であるという特色を有する。また、対策工事についても、国、地方公共団体等の事業主体に加えて受益者負担が求められており、費用負担者も重層的である。そのため、ストックマネジメントの実施に当たり、施設造成者、施設管理者（受益者）等の関係者間で情報を共有することが合意形成のために不可欠である。

さらに、リスク管理のため、施設造成者、施設管理者、地方公共団体等の関係機関でリスクに関する情報の共有を図り、関係者の合意形成の下、効果的に機能保全対策の取組を進めるリスクコミュニケーションを推進していくことが重要である。

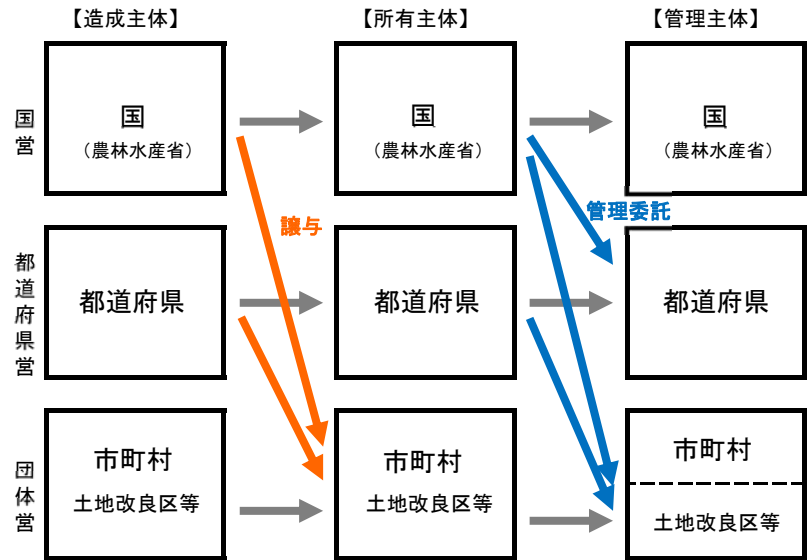


図-1.4.1 農業水利施設の所有と管理の関係

表-1.4.1 リスクコミュニケーションにおいて共有すべき情報の例

情報項目	具体的な情報例
施設の重要度に関する評価	・施設の農業面と農業以外の面の影響度区分と重要度の総合評価判定図及び一覧表 等
日常管理における維持修繕の状況や継続的な施設監視結果	・施設管理者による日常点検票、補修履歴、過去の機能診断結果（ストックDB） 等
機能診断に基づく劣化予測等	・重要度の高い施設の機能保全計画書 等
突発事故が発生した場合に想定される影響と対応計画	・重要度の高い施設の管理規程 ・BCP（事業継続計画） 等
事業の実施に向けた取組手順	・施設の機能保全に係る補助事業の内容・手順 等
事業の実施に向けた課題等	・農家、土地改良区等の意向 ・対策工事の受益者負担 等

2. 機能診断

2.1 農業水利システム全体の機能診断

農業水利システム全体の機能診断は、農業水利システム全体の機能の発揮及び施設使用の利便性の観点から、構造機能に着目するとともに水利用機能や水理機能に重点をおいたものとする。

【解説】

2.1.1 農業水利システム全体の機能診断における着目点

農業水利システムの施設管理者は、農業水利システムの使いやすさ及び管理の容易さを求めている。したがって、農業水利システム全体の機能診断に当たっては、従来の機能診断同様構造機能に着目しながら、水利用機能及び水理機能に重点をおくことを心掛ける。農業水利システム全体の機能診断における着目点を以下に示す。

- ・ 用水の供給状況
- ・ 用水の分水状況
- ・ 水位、流量の調整状況及び容易性
- ・ ゲート、ポンプ等の可動状況及び操作性
- ・ 維持管理、補修の実施状況及び容易性
- ・ 河川等からの取水状況及び安定性

上記の着目点に対して、施設管理者から高い評価を得られれば、農業水利システムに対する信頼性が高く現状における課題もほとんどないと考えられる。

用排水管理上でどこかに不具合があり、施設管理者が管理に苦慮している状況であれば、農業水利システムに対する信頼性が低く、何らかの課題を抱えた農業水利システムであるといえる。

2.1.2 農業水利システム全体の機能診断時の手順と内容

農業水利システム全体の機能診断に当たっては、農業水利システム上における主要な課題、及び留意点等を整理し、機能診断を優先的・重点的に実施すべき施設等を選別することが重要である。課題及び留意点等の整理は、農業水利システムの構成内容に応じて実施する。

用水システムでは、上流部で生じた不具合（用水不足等）は下流側へと波及する。そのため、農業水利システム全体を課題が発生した箇所から上流側へ向かって調査し、不具合箇所及び範囲を把握することが根本的な問題箇所と原因を突き止めるのに有効な方法である。

排水システムでは、下流部で生じた不具合（排水不良等）は上流側へと波及する。そのため、農業水利システム全体を課題が発生した箇所から下流側へ向かって調査し、不具合箇所及び範囲を把握することが根本的な問題箇所と原因を突き止めるのに有効な方法である。

2.1.3 耐震診断

農業水利施設については、土地改良事業設計指針「耐震設計」等において示されている事項に留意して、施設の重要度や地域の実情に応じた耐震診断の推進に努める。

【解説】

(1) 基本的考え方

耐震診断は、施設が本来保有しておくべき性能水準へ回復するために行うものであるため、施設機能の向上に当たるものではない。耐震診断の結果、対策が必要となる施設においては、必要な耐震化対策を機能保全計画や土地改良事業計画等に組み込むことにより、機能保全対策の一環として実施することができる。

なお、施設の耐震診断は、土地改良事業設計指針「耐震設計」等に基づき、二次災害の発生や被災による本来の機能に与える影響等を総合的に勘案して人命・財産やライフラインへの影響が大きいなど、特に重要度が高く、耐震診断が必要と判断された施設について行うものであり、施設の機能診断と一体的に実施することが可能である。

耐震診断及び耐震化対策を行う際、具体的な内容については下記の基準等に準拠する。

- ・ 土地改良計画設計基準・設計「頭首工」（平成 20 年 3 月）
- ・ 土地改良計画設計基準・設計「水路トンネル」（平成 26 年 3 月）
- ・ 土地改良計画設計基準・設計「ポンプ場」（平成 18 年 3 月）
- ・ 土地改良計画設計基準・設計「パイプライン」（平成 21 年 3 月）
- ・ 土地改良計画設計基準・設計「水路工」（平成 26 年 3 月）
- ・ 土地改良計画設計基準・設計「ダム」（平成 15 年 4 月）
- ・ 土地改良計画設計基準・設計「農道」（平成 17 年 3 月）
- ・ 土地改良事業設計指針「耐震設計」（平成 27 年 5 月）
- ・ 土地改良事業設計指針「ファームポンド」（平成 11 年 3 月）
- ・ 土地改良事業設計指針「ため池整備」（平成 27 年 5 月）

(2) 耐震診断の方法

耐震診断は、構造物の状況等を把握する調査、構造物劣化の評価、構造解析を適切に実施し、診断するものとする。

以下に、土地改良施設の耐震診断の一般的な流れを示す。

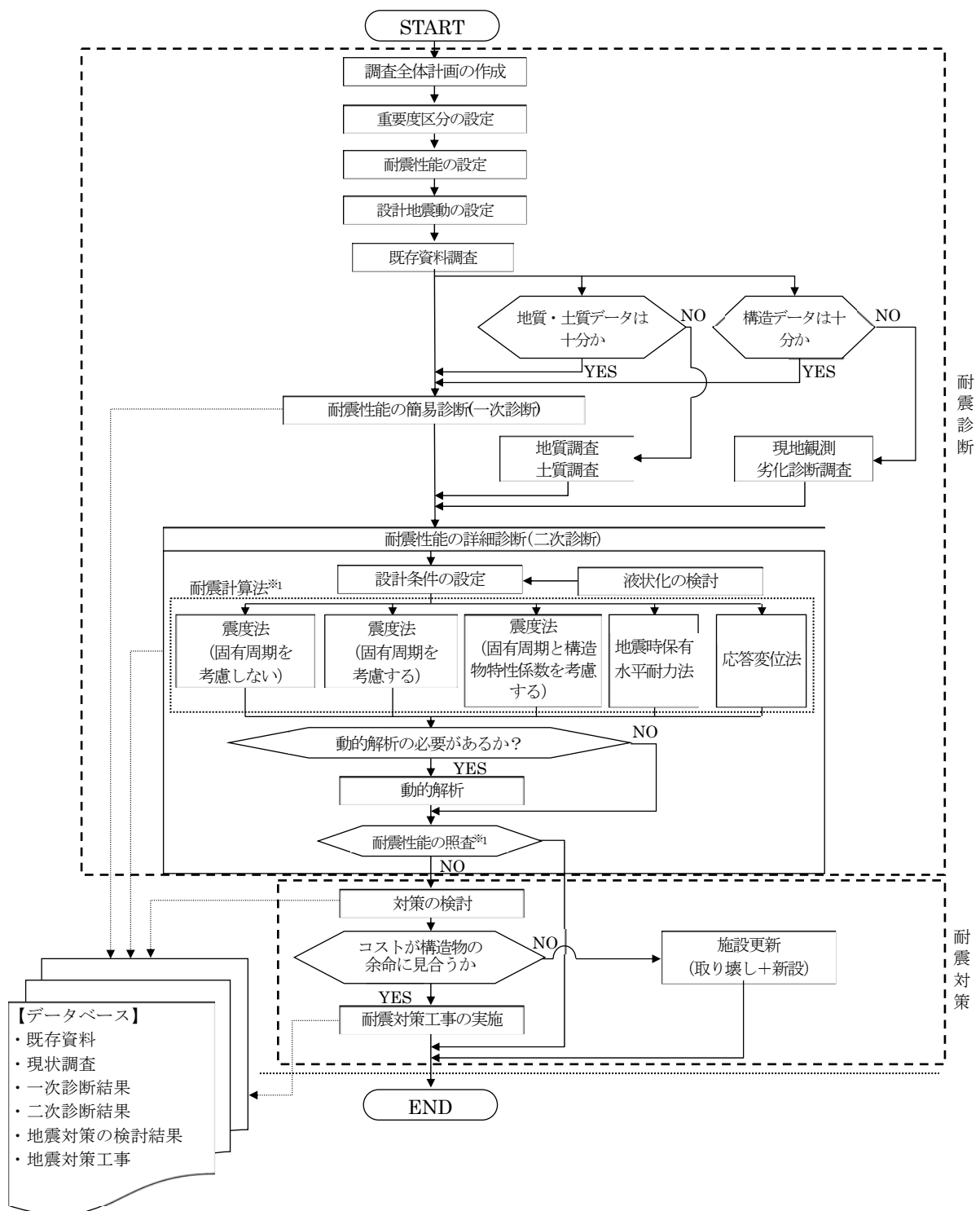


図-2.1.1 既設構造物の耐震診断のフロー

出典：土地改良事業設計指針「耐震設計」（平成 27 年 5 月），P. 273

1) 重要度区分の設定

土地改良施設の耐震診断を行うに当たっては、影響が極めて大きい施設AA種、影響が大きい施設A種、影響がある施設B種、影響が軽微な施設C種の4種類に区分する。

重要度区分は、水利システムの特性を踏まえ、以下に挙げる2つの事項により被災による影響を総合的に判断して決定する。

- ① 被災による二次災害に与える影響
- ② 被災による本来の機能に与える影響（a. 代替施設の有無、b. 基幹施設としての重要度、c. 復旧の難易度）

表-2.1.1 各施設の重要度区分一覧

施設名	重要度区分				備 考
	AA種	A種	B種	C種	
農道橋	○	○	○	該当なし	
水路橋・水管橋	該当なし	○	○	○	
頭首工	○	○	○	該当なし	
擁壁	該当なし	○	○	○	
開水路	該当なし	○	○	○	
ファームポンド	該当なし	○	○	○	
ため池	○	○	○	該当なし	
パイプライン	該当なし	○	○	○	
暗渠	該当なし	○	○	○	
杭基礎	○	○	○	○	上部構造の重要度に合わせる
ポンプ場	該当なし	○	○	○	

出典：土地改良事業設計指針「耐震設計」（平成27年5月），P.34

なお、耐震診断では上記の4種類に区分されているのに対して、機能診断ではA、B、Cの3種類に区分されていることに留意する必要がある。

2) 耐震性能の設定

施設の重要度区分と地震動レベルに応じた耐震性能を設定する。土地改良施設の耐震性能は、次の通りである。

- ① 「健全性を損なわない」：地震により施設の供用時に要求される性能を損なわない性能である。
- ② 「限定的な損傷にとどめる」：地震時の損傷が軽微にとどまり、施設機能の維持と早期回復が可能な性能である。
- ③ 「致命的な損傷を防止する」：地震に対して、構造物の崩壊を防止し、人命の安全性を確保する性能である。

表-2.1.2 各構造物の重要度区分一覧

地震動レベル 重要度区分		レベル 1 地震動	レベル 2 地震動
A A 種	耐震性能	健全性を損なわない	限定的な損傷にとどめる
	耐震設計の実施の有無	耐震設計を行う	耐震設計を行う
A 種	耐震性能	健全性を損なわない	致命的な損傷を防止する
	耐震設計の実施の有無	耐震設計を行う	耐震設計を行う
B 種	耐震性能	健全性を損なわない	耐震性能を設定しない
	耐震設計の実施の有無	耐震設計を行う	耐震設計を行わない
C 種	耐震性能	耐震性能を設定しない	耐震性能を設定しない
	耐震設計の実施の有無	耐震設計を行わない	耐震設計を行わない

出典：土地改良事業設計指針「耐震設計」（平成 27 年 5 月），P. 45

3) 地震動の設定

耐震設計に用いる入力地震動は、構造物の種別、耐震性能、地域特性、振動特性、地盤特性等を考慮し、適切に設定する。

耐震設計では、施設の使用期間内に 1～2 度発生する確率を有するレベル 1 地震動と、発生する確率は低いが大規模なレベル 2 地震動を考慮する。

表-2.1.3 耐震設計に用いる地震動

地震動レベル	定義	適用
レベル 1 地震動	施設の供用期間内に 1～2 度発生する確率を持つ大きさの地震動	レベル 1 地震動は、対象工種に応じて、関連する基準書等を基に、設計水平震度又は速度応答スペクトルを適切に設定する。
レベル 2 地震動	施設の供用期間内に発生する確率は低い、が、断層近傍域で発生するような極めて激しい地震動	レベル 2 地震動では、陸地近傍に発生する大規模なプレート境界型地震（タイプⅠ）や、平成 7 年の兵庫県南部地震のような内陸直下型地震による断層近傍域の地震動（タイプⅡ）を考慮し、対象工種に応じて、関連する基準書等を基に、設計水平震度又は速度応答スペクトル等を適切に定める。

出典：土地改良事業設計指針「耐震設計」（平成 27 年 5 月），P. 21

4) 既存資料調査

既存の資料を用いて、施設の建設地点の地盤における土質の概略の状態を把握する。既存の資料として、以下のものが挙げられる。

- ① 地形図
- ② 地質図
- ③ 地盤図

- ④ 土質柱状図
- ⑤ 活断層に関する調査結果
- ⑥ 地震や地盤のデータベース等の資料

施設によっては、上記の資料による調査だけを基にして建設が可能な場合もある。これらの調査が予備調査となる場合には、現地における踏査を基に計画を立て、土質調査、土の動的物性の調査、地盤の動力学的性能の調査を行う。

また、多くの資料を収集することにより、現地調査を少なくするようにする。

出典：土地改良事業設計指針「耐震設計」（平成 27 年 5 月），P. 57

5) 耐震性能の診断（一次診断・二次診断）

耐震診断は、既設構造物の耐震性能が正確かつ効率的に評価できるように実施しなければならない。このため、耐震診断は、概略的な方法による一次診断と、より詳細な方法による二次診断によって行うものとする。

① 一次診断（簡易診断）

一次診断は、対象となる既設構造物を重要度区分により選定し、建設年代・準拠基準等や設定図書等に基づく概略の構造特性及び地盤条件によって耐震性能を有していないと推定される構造物を抽出し、二次診断の詳細検討に供することを目的として、概略的な耐震性能の評価を行う。

表-2.1.4 簡易診断の着目点

項目	簡易診断の着目点
建設年代	1980 年以前の古い構造物は、相対的に鉄筋量が少ないので震災による被害が多い。
準拠基準等	準拠基準等により、帯鉄筋量が大きく異なるので耐震性能が著しく異なる。
構造特性	鉄筋コンクリート構造物の場合では、せん断補強筋の不足による脆性破壊が起こりやすい。また、鉄筋の途中定着位置での損傷が多い。 構造的には、一般に不静定次数の多い構造物に損傷が少ない。
地盤条件	液状化の対象となる地質の拡大や作用荷重の増加による液状化の有無及び側方流動の可能性により既設構造物基礎耐力が減少する。また、経年変化による地盤沈下などにより、基礎の構造系に変化がある。

出典：土地改良事業設計指針「耐震設計」（平成 27 年 5 月），P. 277

② 二次診断

二次診断（詳細診断）は、一次診断の結果を踏まえて、対象構造物の耐震性能を定量的に把握するため、土地改良事業設計指針「耐震設計」等で示される耐震解析に基づく性能照査を実施する。

表-2.1.5 構造物別の標準的な耐震計算法と照査方法

構造物名	設計地震動	耐震計算法	照査法	備考
農道橋の橋脚、水路橋・水管橋の橋脚、頭首工の堰柱	レベル 1	震度法	許容応力度法	
	レベル 2	地震時保有水平耐力法	地震時保有水平耐力法	小規模農道橋以外
擁壁、開水路	レベル 1	震度法	許容応力度法	
	レベル 2		限界状態設計法	土地改良事業計画設計基準設計「水路工」平成 26 年では、レベル 2 地震動に対する要求性能を「健全性を損なわない」とした場合には、許容応力度法による照査を妨げないとしている。
ファームポンド、ポンプ場	レベル 1	震度法	許容応力度法	
	レベル 2		限界状態設計法	
ため池	レベル 1	震度法	円弧すべり法	
	レベル 2	動的応答解析又は塑性すべり解析による変形量の計算及び照査		
パイプライン	レベル 1	応答変位法	応答変位法	
	レベル 2			
暗渠	レベル 1	応答変位法	許容応力度法	
	レベル 2	及び震度法	限界状態設計法	
杭基礎	レベル 1	震度法	許容応力度法	
	レベル 2	地震時保有水平耐力法	地震時保有水平耐力法	

出典：土地改良事業設計指針「耐震設計」（平成 27 年 5 月），P.219

2.2 日常管理

施設管理者は、日常管理（施設監視を含む）を通じて常に施設を良好な状態に保つと共に、運転記録、事故、点検、整備等の履歴を適切に保存する。施設造成者は、施設管理者が適切な日常管理が行えるよう、点検（監視）に係る情報提供や支援に努める。

【解説】

2.2.1 基本事項

構造物や周辺状態の巡回目視、設備の運転操作時などにおける点検及び日常的な範囲で処置できる軽微な補修等が適切に行われることが、施設の信頼性や安全性の確保だけでなく、施設の長寿命化に直接影響を与える。

このため、施設造成者は、施設管理者が適切な日常管理が行えるよう、点検（監視）方法や留意事項等についての情報提供や支援に努める。

また、日常管理において施設管理者からの情報提供に対して、必要に応じて緊急の機能診断や対策を検討する。

日常管理における点検、整備のデータは、変状の発見や次回以降の点検・整備に役立つばかりでは

なく、主に施設造成者が定期的に行う機能診断時の基礎的な情報として重要であるため、適切に整理、保存する必要がある。施設造成者は、農業水利ストック情報データベース等によるデータの蓄積方法について、施設管理者への情報提供に努める。



図-2.2.1 施設の日常管理

2.2.2 日常管理の留意点

日常管理においては、通常時の状況と異なる現象が生じていないかを常に意識しつつ、運転操作や点検に臨む必要がある。施設造成者は、施設管理者が行う日常管理のポイントや留意点（①～④）等について助言に努める。また、施設の機能診断を行った専門的な知見を有する技術者等は、日常管理の中での点検（監視）のポイントなどを、施設管理者に対して示しておく。

- ①施設の構造の変状（変形、沈下、変色、異臭等）
- ②通水性などの施設機能に異常はないか（水位変動、水撃圧、キャビテーション等）
- ③周辺環境に影響は生じていないか
- ④利用者や周辺住民等からの苦情等はないか

2.3 事前調査（既存資料の収集整理等）

事前調査では、まず、施設の経歴（前歴事業の設計図書、補修等履歴情報等）、施設の供用環境（通水量の変動、水質等）、地域特性（寒冷地、海岸からの距離等）に関する既存資料を収集整理する。次に、土地改良区等の施設管理者からの聴き取りを行い、施設の現況を把握し、現地踏査における調査項目や留意事項を定めるなど、調査方法を検討する。

【解説】

2.3.1 既存資料の収集整理

事前調査では、設計図書、管理・事故・補修記録等の文献調査やデータベースの参照、施設管理者からの聴き取り調査等により、施設の重要度評価やリスクの把握に必要な情報を含む機能診断調査に関する基本的情報を効率的に収集し、現地踏査や現地調査をどのように実施するか等を検討する。

事前調査で収集することが望ましい資料については表-2.3.1 に示す。また、農業水利ストック情報データベースを活用し、施設基本情報や補修等履歴、既往の機能診断結果を参考にする。

表-2.3.1 事前調査で収集することが望ましい既存資料（例）

情報の種類			参考資料	データ収集元	備 考
施設諸元	事業の目的・経緯		工事誌・事業誌	事業主体	事業の目的・経緯
			事業情報	DB	事業開始・竣工年、総事業費、受益面積
	施設量の把握		設計書・出来高図面	施設管理者	新設における施設構造、追加距離、工事名、コンクリート配合
			施工内容	事業主体	コンクリートの使用材料・配合、施工記録、各種試験記録
			施設管理台帳	施設管理者	土地改良区で管理台帳を作成していることが多い
			土地改良区管内図	施設管理者	特に規定されていないため縮尺は多様
			土地改良区パンフレット	施設管理者	概要を把握するのに有効
			施設基本情報	DB	DB上に登録されている施設を確認 施工年・施設延長・設計流量・工事費・施工者・附帯施設
	施設の補修履歴		土地改良施設維持管理適正化事業記録	施設管理者	土地改良区で実施した保全対策の記録の確認
			基幹水利施設管理事業記録	施設管理者	土地改良区で実施した保全対策の記録の確認
			災害復旧事業記録	施設管理者	既往災害及び復旧に関する記録
			補修等履歴情報	DB	DB上に登録されている過去の補修履歴を確認 施工年・施工範囲・施工工法・施工理由・工事費
その他	施設の日常管理		日常の点検票	施設管理者	既往の日常点検票
			維持管理情報	DB	DB上に登録されている過去の維持管理費を確認 管理体制、管理費
	施設の機能診断結果		既往の機能診断報告書	事業主体	広域基盤整備計画調査などによる既往の施設機能診断結果
			機能診断情報	DB	DB上に登録されている過去の機能診断結果を確認 施設変状発生箇所、総合評価結果
	供用状況	取水量・通水量	頭首工操作規則	施設管理者	取水・通水量の経年的な増減の履歴
			水利使用規則	施設管理者	取水・通水期間
		水質	既往調査結果	事業主体 施設管理者	水質に関する既往調査結果
		土砂混入状況	既往調査結果	施設管理者	土砂堆積や摩耗に関する既往調査結果
	供用環境	地質条件	地質図・航空写真	事業主体 施設管理者	軟弱地盤、地すべり地形、地下水位に関する情報
		周辺利用	古地図・古い航空写真	事業主体 施設管理者	宅地化の進行や近接施工の有無
	地域特性	塩害の可能性	地形図	事業主体	海岸からの距離と地図上のおおよその位置
		凍害の可能性	地形図	事業主体	地図上のおおよその位置
		ASRの可能性	地形図と施工記録	事業主体	施工年代と地図上のおおよその位置

注1) 表中のDBは農業水利ストック情報データベースを指す

注2) 緑の着色は、農業水利ストック情報データベースにより確認する情報

2.3.2 施設管理者からの聴き取り

土地改良区等の施設管理者への聴き取りに当たっては、対象施設毎に日常点検票を収集し、問診票の項目に従って、施設の現況を把握する。

また、現地踏査及び現地調査の実施に当たっての留意事項（車両の乗入れ、安全対策、周辺住民への配慮等）についても施設管理者に確認する。

調査手順と調査内容を以下に示す。なお、詳細な調査手法については、農業水利施設の機能保全調査計画の参考（調査編）に記載している。

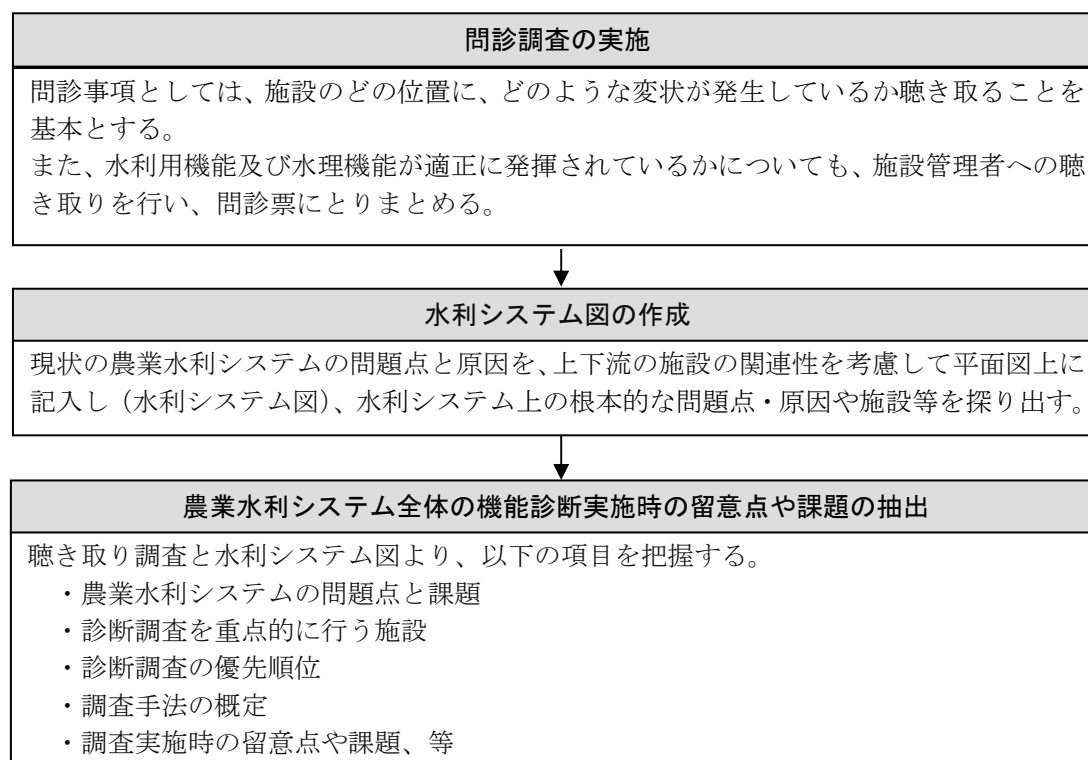
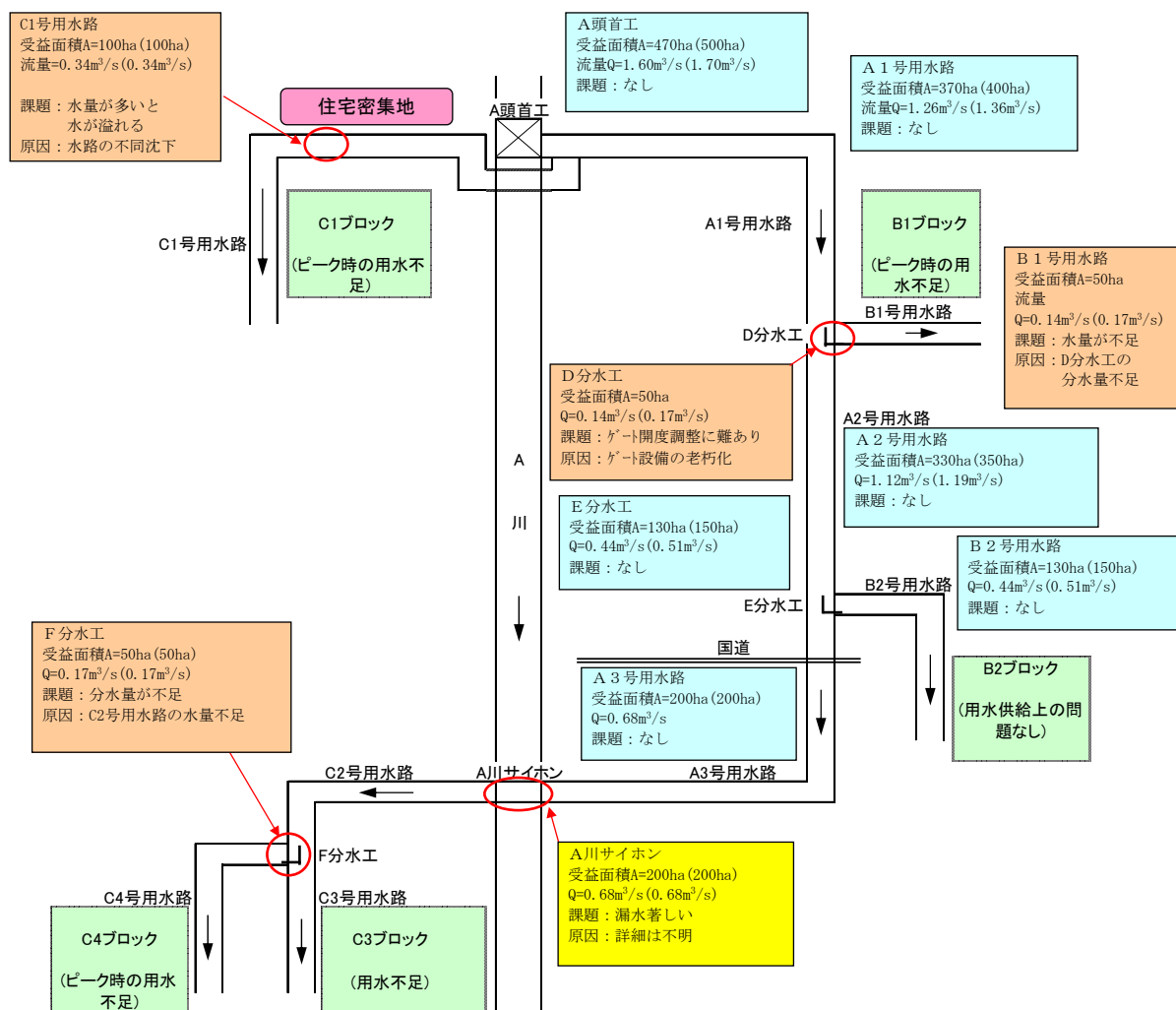


図-2.3.1 留意点・課題の抽出フロー

水利システム図（例）

施設の受益面積や水量の当初と現在を記入するとともに、鉄道や主要道路、住宅密集地など立地条件の情報を記入し、対象施設がどのような水利システムとして成り立っているかを把握することが望ましい。



A川サイホン
受益面積A=200ha 問題: 漏水著しい 原因: 詳細は不明

C2号用水路
受益面積A=200ha (200ha)
Q=0.68m³/s (0.68m³/s)
課題: 水量が不足
原因: サイホンの漏水

F分水工
受益面積A=50ha (50ha)
Q=0.17m³/s (0.17m³/s)
課題: 分水量が不足
原因: C2号用水路の水量不足

C4号用水路
受益面積A=50ha (50ha)
Q=0.17m³/s (0.17m³/s)
課題: 水量が不足
原因: F分水工の水位低下

C3号用水路
受益面積A=150ha (150ha)
Q=0.51m³/s (0.51m³/s)
課題: 水量が不足
原因: C2号用水路の水量不足

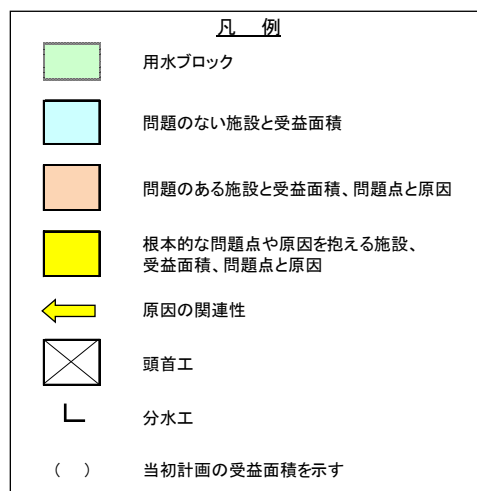


図-2.3.2 水利システム図の例（用水システムの場合）

機能診断調査時の留意点、課題の抽出（例）

①重点的に機能診断が必要な施設の抽出

- ・A 川サイホン：下流から上流へ向かって施設の不具合の原因を追っていくことで、C2～C4 号用水路及びF分水工の水量不足の原因は A 川サイホンの漏水に起因していることが判明した。従って、A 川サイホンは重点的に機能診断が必要な施設であると抽出できる。
- ・C1 号用水路：住宅密集地において、流量が多いと水が溢れることから、重点的に機能診断が必要な施設であると抽出できる。

②対象施設の調査手法の概定、課題

- ・A 川サイホン：診断調査前に施設管理者との協議が必要となり、現場条件や調査目的によっては、調査方法や調査費用が違ってくる。例えば、調査方法として、調査員による直接目視と水中ロボットカメラによる調査が考えられる。

課題：調査員による直接目視は精度が高いが、長大サイホンでは強制排水に多額の費用を要する場合がある。一方、カメラによる調査は、直接目視に比べて精度は劣るものの、強制排水は不要で調査期間を短縮できるが、調査延長等の適用条件が課題である。

- ・C1 号用水路：水準測量により沈下量の測定を行う。この時、目地の開きや段差、止水板の破断についても併せて調査する。

③診断調査の優先順位

A 川サイホン 受益面積 A=200ha：サイホン下流は全て農地

C1 号用水路 " A=100ha：水路周辺は住宅密集地

農業面では受益面積の大きい A 川サイホンを優先したい。しかし、非農業面（社会面）への影響を考えれば、住宅密集地に位置する C1 号用水路の診断調査と対策工法を優先することも考えられる。

課題：施設管理者や地域住民との協議や調整が必要である。

④その他施設

- ・D 分水工：ゲート開度調整に難があることから、開閉装置に留意してゲート設備の機能診断を行う。
- ・F 分水工：F 分水工の分水量不足の原因は A 川サイホンの漏水に起因していることから、サイホンの機能診断調査と対策工の実施によって、水利用機能の回復が期待できる。

2.4 農業水利施設の重要度評価

リスク管理の観点から、ストックマネジメントの各プロセスの取組を効率的に行うため、事前調査、現地踏査で得られた成果をもとに施設の重要度を評価する。

【解説】

施設の重要度は、農業面と農業以外の面（施設周辺環境等）に与える影響から評価を行うものであり、施設の状況等に応じ、定性的又は定量的な判断から評価・区分を行う。

農業面では農業への影響度や復旧の難易度（費用・期間）等に置き換えて考えることができ、農業以外の面では、住宅地、公共機関等の周辺施設の立地条件から、事故が起こった場合の被害等を踏まえて評価することができる。

重要度区分は、当該施設における重要度評価の目的や施設の状況等を総合的に勘案したうえで、表-2.4.1 を参考に地区や施設の状況に応じて個別に設定する。土地改良事業計画設計基準や土地改良事業設計指針「耐震設計」に準拠しているが区分表示が異なることに留意する。

表-2.4.1 農業面における影響度区分の評価イメージ

区分	（農業面） 農業への影響度 復旧の難易度	判断する上での参考指標（例）
Ⅰ	農業被害額が非常に高い	- 被害額＞予防的な保全対策費用 - 水路組織の中で施設規模や受益面積が極めて大きく、かつ被災した際ライフラインとしての用水供給に著しい支障を来す場合。 - 基幹水利施設（水田用水・上工水等）のパイプラインで、流量や管径が極めて大きい場合。
	復旧難易度が非常に高い	- 宅地などの隣接部や構造物の埋設が深い場合など、応急復旧のための作業が極めて困難、又は長期期間を要する場合。 - 復旧に際し、用水の仮回しが必要な場合や、大掛かりな仮設工事と、特殊な工法を採用する必要が想定される場合。
Ⅱ	農業被害額が高い	- 被害額≒予防的な保全対策費用 - 施設規模や受益面積が大きく、かつ被災した場合にライフラインとしての用水供給に相当の支障を来す場合。
	復旧難易度が高い	- 応急復旧のための作業に比較的長時間を要する場合。 - 大掛かりな仮設工事の必要がなく、施工材料や施工方法が標準的なものが想定される場合。
Ⅲ	農業被害額が比較的低い	- 被害額＜予防的な保全対策費用 - 区分Ⅰ、Ⅱに該当しない場合 - 末端水利施設で、施設規模や受益面積が小さい場合。
	復旧作業が容易	応急復旧のための作業が容易で短期間で実施できる場合。

注1）面積、流量および管径は、地区の状況に応じて勘案する。

表-2.4.1 農業以外の面における影響度区分の評価イメージ

区分	(農業以外の面) 社会的被害 立地条件	判断する上での参考指標（例）
I	社会被害の可能性 大	・水路施設に隣接して家屋、避難場所、公道、鉄道、各種ライフライン等の重要公共施設があり、水路の破損によって直接被害を生じる場合や、水路の破損による流出水が大量にこれらの場所に流入、又は湛水し、人命又は社会経済に重大な影響を及ぼすおそれがある場合。 ・上水道・工業用水などとの共同施設である場合。 ・頭首工では、洪水ハザードマップによる被害想定区域等の状況、河川整備計画等に基づく堤防の改修状況などから、被災により治水上重大な影響を及ぼす施設の場合。 ・頭首工の上部工を一般道路として供用しており、被災により利用上重大な影響を及ぼす施設の場合。 ・頭首工の上部工が地域防災計画に位置付けられており、被災により災害リスク管理上重大な影響を及ぼす施設の場合。
II	非農業部門への影響あり	・水路施設に隣接して家屋、避難場所、又は重要公共施設があり、水路の破損による流出水がこれらの場所に流入又は湛水し、人命に重大な影響はないものの、社会経済的に多大な影響を及ぼすおそれがある場合。
III	非農業部門への影響なし	・特に二次被害危険度が認められない場合 ・水路施設が甚大な被害を受けた場合でも付近の原野、水田等が浸水する程度で、社会経済的な影響が軽微な場合。 ・頭首工では、固定堰や床止工等 ・山間狭窄部や平野部において背後地盤が高い箇所に設置された取水堰を設けない自然取入れ方式の取入口。 ・溪流取水工等。

表-2.4.2 重要度の総合評価判定イメージ

		農業面		
		I	II	III
農業以外の面 社会的被害 (立地条件)	I	A	A	A
	II	A	B	B
	III	A	B	C

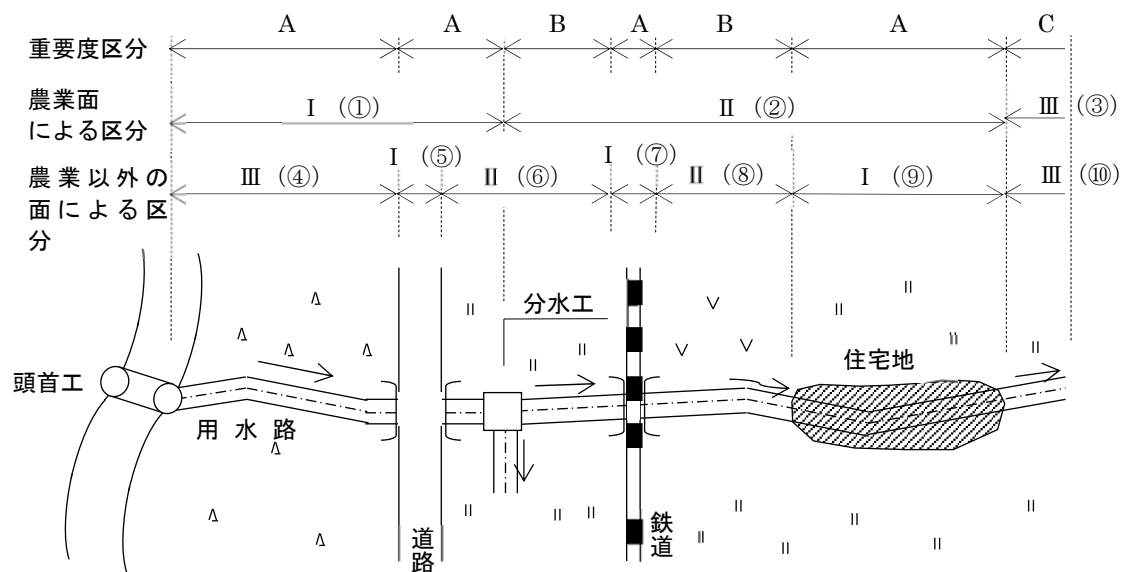


図-2.4.1 施設の重要度の設定イメージ

《農業面による区分》

- ①：頭首工から分水工までの区間であり、水路組織の中で施設規模が極めて大きく、供給される用水の中断あるいは減量が農業の生産活動に与える影響が非常に高いため ➡ 区分Ⅰ
- ②：分水工から住宅地を抜けるまでの区間であり、水路組織の中で施設規模が大きく、供給される用水の中断あるいは減量が農業の生産活動に与える影響が高いことと、鉄道下や住宅地を通っているが大掛かりな仮設等は必要なく、標準的な施工方法で対応可能であるため ➡ 区分Ⅱ
- ③：住宅地から末端の区間であり、水路組織の中で施設規模が小さく、供給される用水の中断あるいは減量が農業の生産活動に与える影響が比較的低く、復旧の難易度も低い
ため ➡ 区分Ⅲ

《農業以外の面による区分》

- ⑤、⑦、⑨：幹線道路、鉄道、住宅街を通過しており、事故が起こった場合に住民生活や地域の経済活動に著しい支障を来すため ➡ 区分Ⅰ
- ⑥、⑧：幹線道路、鉄道、住宅地に挟まれた区間であり、事故が起こった場合に住民生活に支障を来す可能性があるため ➡ 区分Ⅱ
- ④、⑩：周囲には農地が広がっており、事故が起こった場合に住民生活に与える影響は小さいことから ➡ 区分Ⅲ

【参考】LCC比較（機能保全コスト比較）におけるリスクの考慮（例）

リスクは、地震や洪水等の自然災害や突発事故等による施設の崩壊や機能停止等が発生する確率と、それらがもたらす被害額（施設が破損することで周辺環境に与える不利益額、施設の機能が発揮されないことによる不利益額、復旧・仮設に要する費用など=施設の損失額）を検討することで評価できる。

$$R \text{（リスク：期待損失）} = \Sigma [P \text{（事故の発生確率）} \times C \text{（施設の損失額）}]$$

ここでは、パイプラインの事故率に基づくリスクコストを考慮したLCC比較（例）の検討を行う。

① 検討に使用するパイプライン事故率

A地区におけるパイプラインの事故件数及び事故率（地区内の全パイプラインを対象とした値）は以下の状況である。

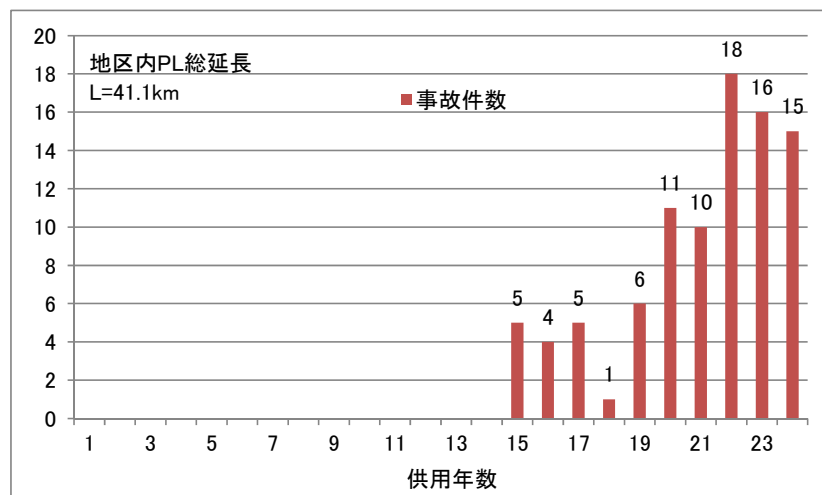


図-2.4.2 A地区 パイプライン事故件数の推移

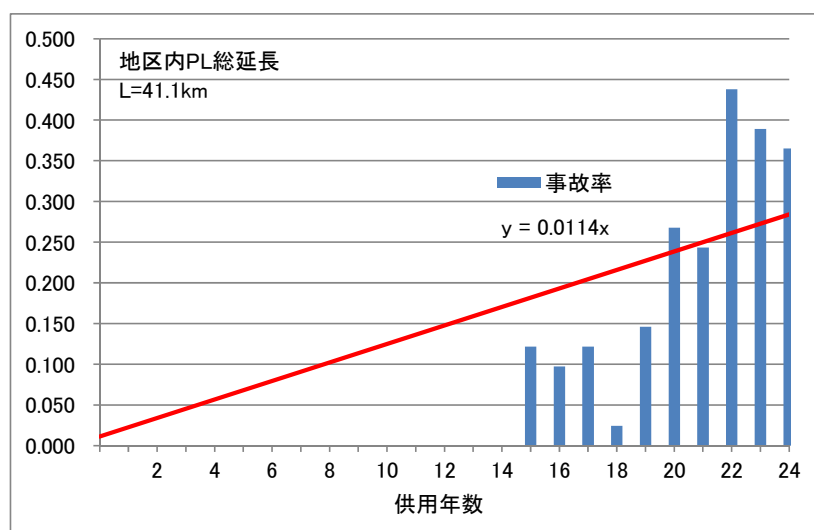


図-2.4.3 A地区 パイプライン事故率の推移

供用年数が 15 年を経過する頃から突発事故が発生し、その後は増加傾向がはっきり見られる。リスクコストは当該地区の事故率を用いて算出する。算定の結果、A 地区におけるパイプラインの事故率は、

$y = 0.0114x$ で示される。

y : 事故率

x : 供用年数

なお、通常事故発生確率を示す近似式には指数関数的曲線が用いられているが、指数関数近似では事故率が短期間に急激に増加するため、ここでは線形近似を用いた。

② リスクコストの算出

パイプラインの突発事故に係るリスクコストは、事後保全に要する費用と事故による被害額により構成される。下表に被害額の事例を示す。

表-2.4.3 被害額の内訳

費用区分		内 容
合計被害額	事後保全に要する費用	漏水事故管の補修・補強費用
		・土地利用条件や道路条件によって工事の難易度が変わるため、必要に応じて割り増しする。 ・当該施設に係る実態が明らかな場合は、実態ベースの費用を計上する。
	事故による被害額	・断水による農作物の減収額 ・当該施設の受益における主要作物を対象に算出するが、算定が困難な場合は断水中の代替水源費を農作物の減収額として求める。
		第三者被害（住宅、公共施設被害等） ・一般に被害額積み上げ方式がとられる。 ・周辺土地利用が農地主体である場合は、第三者被害は考慮しない。

③ 事故保全に要する費用（事故復旧工事費）

漏水事故管の復旧費用は、応急的な処置にかかる費用（代替ポンプの運用費用等）及び本復旧に要する費用（新設管による布設替え、止水バンドによる補修等）等が対象となる。

これらの費用は、当該施設に係る過去の工事費用（農業水利ストック情報データベースや施設管理者に対する聴き取り結果）より漏水事故 1 件当たりの工事費の平均値を計上する。

④ 事故による被害額

事故による被害額は、漏水事故に伴う周辺道路の陥没や表土の流出等に対する復旧費用、断水による農作物の減収額等が対象となる。

道路や農地の復旧費用は、当該施設に係る過去の復旧費より漏水事故 1 件当たりの復旧費の平均値を計上する。

断水による農作物の減収額は、当該施設の受益における主要作物を対象に下式に基づき算定する。

$$\text{減収額} = \text{被害面積} \times \text{被害が生じる農作物の単収} \times \text{単価} \times \text{純益率}$$

(次頁の算定例参照)

本検討に当たっては、事故保全に要する費用及び事故による被害額について、当該地区のパイプライン（φ800mm 以上）における突発事故実態より平均値を算出し適用する。

表-2.4.4 パイプライン（φ800mm 以上）における突発事故実態

NO	施設名	管種	管径 (mm)	事故発生時の 供用年数(年)	人身 被害	第三者 被害	復旧費 [千円]	補償費 [千円]	事故経費
1	〇〇幹線水路	A	1350	38	無	有	7,900	14,000	21,900
2	××幹線水路	A	1100	25	無	有	13,000	2,527	15,527
3	△△支線水路	B	800	9	無	有	6,510	87	6,597
5	□□支線水路	B	800	29	無	有	1,708	4,998	6,706
4	◇△支線水路	B	700	28	無	有	882	110	992
合計							30,000	21,722	51,722
平均							6,000	4,344	10,344

※1 復旧費とは、応急的な処置にかかる費用(仮復旧費)及び本復旧に要する費用の合計。作物等の補償費は含まない。

※2 補償費とは、管破損事故に伴う漏水などによって第三者被害等が発生した場合に支払う費用。

以上より、

事故保全に要する費用＝6,000 千円/件

事故による被害額 ≒ 4,300 千円/件 合計被害額 10,300 千円/件を採用する。

【参考】断水による農作物の減収額算定例

(算定条件)

想定されるリスク： 凍霜害防止のためのかんがい用水の断水
被害想定農作物： 茶（一番茶）
被害状況： 凍霜害の発生（対象面積の全新芽に被害が発生と仮定）
被害面積： 10ha（末端生産団地を想定）
単収： 1,390kg/10a/年×32%（下表参照）

表-2.4.5 当該地区の茶の年間の生産割合

区 分	一番茶	二番茶	三番茶	四番茶	秋冬番茶	合計
生産割合	32%	27%	21%	5%	15%	100%
平 均	20%					

単価： 231 円/kg
純益率： 72%
減収額： $10\text{ha} \times 1,390\text{kg}/10\text{a}/\text{年} \times 32\% \times 231 \text{ 円}/\text{kg} \times 72\% \div 7,400 \text{ 千円}$

※単収及び単価は、当該施設の所在地（都道府県）の直近5ヶ年の平均値を採用

※純益率は、「土地改良事業における経済効果の測定に必要な諸係数」による

なお、水田の場合は、穂ばらみ期以外においては1～2日程度の湛水であれば被害も5～30%程度であることから、対象の作物に応じて減収額を低減する等の対応が必要である（上記の例は100%被害が発生した場合の事例）。

⑤ リスクコスト

パイプラインの事故率と合計被害額をベースに経過年毎のリスクコストを算出する。算出結果を下表に示す。なお、表-2.4.6 の例では、事故率の上限を 10 件/km/年としている。

$$\text{単年度リスクコスト} = \text{合計被害額(千円)} \times \text{経過年毎の事故率 (件/km・年)}$$

表-2.4.6 突発事故実態に基づく単年度リスクコスト

合計被害額(千円)		10,300			
供用年数	事故率	リスク コスト(千円)	供用年数	事故率	リスク コスト(千円)
1	0.011	113	31	0.353	3,636
2	0.023	237	32	0.365	3,760
3	0.034	350	33	0.376	3,873
4	0.046	474	34	0.388	3,996
5	0.057	587	35	0.399	4,110
6	0.068	700	36	0.410	4,223
7	0.080	824	37	0.422	4,347
8	0.091	937	38	0.433	4,460
9	0.103	1,061	39	0.445	4,584
10	0.114	1,174	40	0.456	4,697
11	0.125	1,288	41	0.467	4,810
12	0.137	1,411	42	0.479	4,934
13	0.148	1,524	43	0.490	5,047
14	0.160	1,648	44	0.502	5,171
15	0.171	1,761	45	0.513	5,284
16	0.182	1,875			
17	0.194	1,998			
18	0.205	2,112			
19	0.217	2,235			
20	0.228	2,348			
21	0.239	2,462			
22	0.251	2,585			
23	0.262	2,699			
24	0.274	2,822			
25	0.285	2,936			
26	0.296	3,049			
27	0.308	3,172			
28	0.319	3,286			
29	0.331	3,409			
30	0.342	3,523			

⑥ リスクを考慮した LCC 比較

リスク管理を考慮した LCC 比較（例）を下記に示す。

【検討条件】

- 対象施設 : **パイプライン** $\phi 1000$
 $L=1,000\text{m}$
- シナリオ設定 : シナリオ 1（S-3 段階で補修：路線の 1/3 の区間に実施）
 対策工法：補修工法（耐用年数 15 年）
 300,000 円/箇所（諸経費込）
- : シナリオ 2（S-1 段階で更新）
 対策工法：既設管と同仕様で更新（耐用年数 40 年）
 180,000 千円/m
- 対策実施時期 : シナリオ 1（供用開始 12 年及び 32 年）
 シナリオ 2（供用開始 40 年）
- 維持管理費 : 200 千円/年
- リスクコスト : 合計被害額×事故率
 合計被害額=10,300 千円（突発事故実態の平均値）
 事故率=0.0114x（A 地区）
 x：供用年数

※対策実施後の耐用年数期間はリスクコストがないものとして試算している。

上記の条件で LCC を算定した結果を下図に示す。

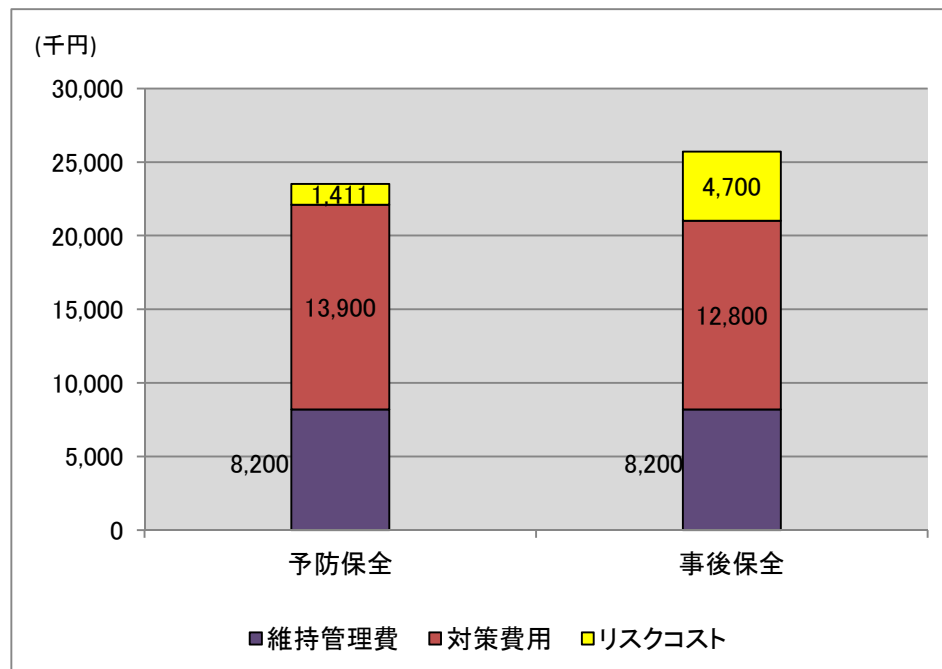


図-2.4.4 リスクを考慮した LCC イメージ

※対策工事費は現在価値化した額を示す。

2.5 構造物の劣化要因の推定

現地調査における調査項目の設定や調査地点の選定を効率的に行う観点から、事前調査、現地踏査で得られた成果をもとに、地域特性や供用環境等の使用環境条件と劣化要因の関連性を整理し、添付の「劣化要因推定表」（パイプラインの場合、「性能低下要因推定表」）を用いて、当該施設における主たる劣化要因を推定する。

【解説】

主たる劣化要因は、「劣化要因推定表」の関連性の高さで判断されるが、関連性が低い要因であっても、過去の機能診断結果や事故原因調査等から劣化要因が特定されている場合は、関連資料の追加収集や現地調査計画に反映させることが望ましい。

構造物の劣化現象と機能診断調査の着眼点

構造物の診断に当たって、現地調査の計画を立てる前に、構造物の環境条件や設計条件、維持管理の状況などを、既存資料によってできるだけ把握しておくことが重要です。コンクリート構造物やパイプラインについては、環境条件や材料から発生しやすい劣化現象を予見できる場合があります。

例えば、

- ・ 海に近く、塩分が溜まりやすい場所では、塩害が発生しやすい。
- ・ 気温がマイナスになる年間日数が多いところでは、凍害が発生しやすい。
- ・ 北陸や中国、近畿、東海地方ではアルカリ骨材反応が多く発生している。

などです。

劣化要因の推定は、機能診断調査を行うまえに、これらの可能性について評価を行うものです。

2.5.1 開水路・頭首工・用排水機場・水路トンネルの場合

コンクリート構造物の現地調査及びその評価を効率的に行うために、劣化因子を、過去の機能診断結果やその他の既往の資料により予め劣化要因推定表をもとに整理しておく。

コンクリート構造物の劣化要因推定表は、開水路・用排水機場については表-2.5.1、頭首工については表-2.5.2、水路トンネルについては表-2.5.3のように整理される。

また、劣化要因推定表の評価項目及び評価の視点は、開水路・用排水機場・頭首工については表-2.5.4、水路トンネルについては表-2.5.5のように整理される。

【開水路・用排水機場の場合】

表-2.5.1 鉄筋コンクリート構造物の劣化要因推定表

劣化要因 使用・劣化環境		内部要因								外部要因					
		コンクリート							鋼矢板						
		中性化 ※1	塩害 ※1	ASR ※2	凍害	化学的 腐食	疲労	摩耗 風化	腐食	土圧 後背土 滑り	凍上圧	地下 水圧	地盤 沈下	その他 転石衝突等	底面 浸食 盤膨れ
供用年数	40年以上	○	○	○	○	○	○	○	◎						
	20～40年未満	△	△	△	△	△	△	○	○						
施工年	1986年以前		△	△											
	1978年以前	△													
鉄筋被り	t<30mm	○	○												
地域	①塩害を起こしやすい(起きた)地域	△	○	△	△										
	②ASRを起こしやすい(起きた)地域		△	○	△										
	③凍害を起こしやすい(起きた)環境		△	△	○						○				
	④ASR、塩害複合劣化地域	△	○	○	△										
	⑤塩害、凍害複合劣化地域	△	○	△	○										
	⑥凍害、ASR複合劣化地域		△	○	○										
供用環境	①南向き面の部材	△			○						○				
	②融雪剤・凍結防止剤の使用		△		△				○						
	③接水時間が長い(常時)							△	○						
	④周辺に樹木等の植生あり									◎					
	⑤海水の流水あり		○						◎						
材料	①水セメント比60%以上	○	○		○										
	②海砂の使用		◎												
	③反応性材料使用			○											
水質	①硫酸分水質(温泉)					○			◎						
	②化学工場・食品加工場等の廃液流入					○			◎						
	③硬度が小さい							○							
土壌・地盤	①腐食性土壌(酸性土壌)	△		△		△									
	②地下水位(高い)			△	△	△						○			○
	③軟弱地盤									○			○		○
	④片盛土区間・切盛境界									○			○		
	⑤地山の透水性が高い									○	○	○			
地圧	①自動車荷重(直接)						○			◎					
	②自動車以外の荷重						△			○					
	③設計荷重を大きく上回る荷重の負荷									◎				○	
	④極端な偏荷重が作用									◎					
	⑤過去に地震被害を受けた									○			○		○
摩耗条件	①射流の水路							○							
	②砂礫・転石の流下							○						○	

【関連性:高―◎・○・△・なし―低】

※1 無筋コンクリート構造物の場合は劣化要因としない。

※2 1986年以降の施工の場合は劣化要因としない。

※3 1978年に鉄筋被りと設計基準強度について規定、1986年に塩分総量規制施工・ASR対策について規定

【参考】アルカリ骨材反応について（以降の表も共通）

アルカリ骨材反応には、アルカリシリカ反応（以下「ASR」と言う。）、アルカリ炭酸塩反応及びアルカリシリケート反応の3種類があり、我が国で被害が主に報告されているのはASRであるとされている（コンクリート診断技術'15「基礎編」）。

なお、本編においては、両者（アルカリ骨材反応とASR）を特に明確に使い分けているものではない。

劣化要因評価は、上表で該当する項目をハッチングし、◎がある場合は該当する項目の劣化要因が疑われることとなる。○又は×の場合は劣化要因として疑われるが外傷等が見られないもの、空欄は該当しないものとして定義される。

【頭首工の場合】

表-2.5.2 頭首工（コンクリート構造物）の劣化要因推定表

劣化要因		内部要因								外部要因							
		コンクリート							鋼矢板								
		中性化 ※1	塩害 ※1	ASR ※2	凍害	化学的 腐食	疲労	摩耗 風化	腐食	パイピ ング	背面 土砂 吸出し	河床 低下	地盤 沈下	出水 時の 洗堀、 掃流	衝突 摩耗	堆砂	
使用・劣化環境																	
供用年数	40年以上	○	○	○	○	○	○	○	◎								
	20～40年未満	△	△	△	△	△	△	○	○								
施工年	1986年以前		△	△													
	1978年以前	△															
鉄筋ぶり	t<30mm	○	○														
地域	①塩害を起こしやすい(起きた)地域	△	○	△	△												
	②ASRを起こしやすい(起きた)地域		△	○	△												
	③凍害を起こしやすい(起きた)環境		△	△	○												
	④ASR、塩害複合劣化地域	△	○	○	△												
	⑤塩害、凍害複合劣化地域	△	○	△	○												
	⑥凍害、ASR複合劣化地域		△	○	○												
供用環境	①南向き面の部材	△			○												
	②融雪剤・凍結防止剤の使用		△		△				○								
	③接水時間が長い(常時)							△	○								
材料	①水セメント比60%以上	○	○		○												
	②海砂の使用		◎														
	③反応性材料使用			○													
水質	③硬度が小さい							○									
頭首工 地盤条件	①透水性地盤（砂礫層）									○	○	○					
	②地盤条件の境界部に位置する									△			△				
頭首工 立地条件	①河床勾配1/140より大きい											○			△		
	②感潮河川に位置する		○						○								
	③河川蛇行部・合流部による水衝部がある													△		△	
頭首工 河川条件	①近年上流部のダム新設等により土砂流出量が減少した											△					
	②上流部からの土砂供給がある													△		○	
	③ミオ筋が変化しやすい											△					
	④洪水が頻繁に発生する										△			△	△		
頭首工 構造条件	①基礎の形式がフローディングである									○							
	②止水壁・阻壁がない。または不明である									○							
頭首工 被災履歴	①過去に頭首工の流出・損壊など被災がある									○	○	○		○	○	○	
	②過去に地震被害を受けた									○	○		○				

〔関連性:高→◎・○・△・なし→低〕

※1 無筋コンクリート構造物の場合は劣化要因としない。

※2 1986年以降の施工の場合は劣化要因としない。

【水路トンネルの場合】

表-2.5.3 水路トンネルの劣化要因推定表

劣化要因 使用環境		地山外部要因			内部要因					
		塑性圧	緩み圧	偏圧	中性化 ※1	塩害 ※1	ASR ※2	凍害	化学的 腐食	摩耗 風化
供用年数	①40年以上				○	○	○	○	○	○
	②20～40年未満				△	△	△	△	△	△
施工年	①1986年以前（塩分総量規制、ASR対策）					△	△			
	②1978年以前（鉄筋被り、設計基準強度）				△					
地域	①塩害を起こしやすい(起きた)地域					△				
	②ASRを起こしやすい(起きた)地域						△			
	③凍害を起こしやすい(起きた)地域							△		
	④ASR、塩害複合劣化地域					△	△			
	⑤塩害、凍害複合劣化地域					△		△		
	⑥凍害、ASR複合劣化地域						△	△		
材料	①水セメント比60%以上				△	△		△		
	②海砂の使用					△				
	③反応性骨材の使用						△			
水質	①水質が酸性								○	
	②海水の流入あり					○				
摩耗条件	①流速が2m/s以上									○
	②土砂の流入が多い									○
背面地山の地質（岩種）	①やや風化が進みやすい岩 はんれい岩、輝緑岩、第三紀凝灰角礫岩等	△	△	△						
	②固結度が低く、風化が進みやすい岩 新第三紀層泥質岩、未固結堆積物、中古生層の頁岩・粘板岩、蛇紋岩、温泉余土など熱変成岩類等	○	○	○						
特殊地山条件の有無	断層破砕帯、偏圧・斜面クリープ、膨張性地山に位置する	◎	○	◎						
周辺地形	地すべり地形内を通過している 地すべり地形に近接している	○	○	◎						
事故履歴	過去に凍上圧による変状が発生した	◎	◎	○						
土かぶり	Dc<5D Dc：土かぶり　D：トンネル掘削径	○	○	○						
施工方法・過去の調査における空洞の有無の可能性	①矢板工法で施工された	△	△	△						
	②実際の空洞調査で空洞が発見された	○	○	○						

〔関連性：高←◎・○・△・なし→低〕

※1 無筋コンクリート構造物の場合は劣化要因としない。

※2 1986年以降の施工の場合は劣化要因としない。

表-2.5.4 劣化要因を推定する視点（開水路・頭首工・用排水機場）

調査・整理項目				性能低下要因の視点	備 考	
供用年数	①供用年数			劣化の潜在的可能性	(A)	
	②適用基準等			設計当時の基準や使用材料の特性	(B)	
	③事故の状態・原因			当該地点の変状・劣化の特性について把握する		
	④補修・補強工法			補修・補強の効果		
施工年	①中性化の可能性			1978年に鉄筋被りと設計基準強度について規定され、それ以降に造成された構造物は中性化が減少	(B)	
	②塩害・ＡＳＲの可能性			1986年「コンクリート塩分総量・アル骨暫定対策通達」（建設省・運輸省）により、それ以降に造成された施設では塩害・ＡＳＲが減少		
	③施工記録（打込み順序等）			初期ひび割れ、初期欠陥の原因		
鉄筋被り	①鉄筋被り			被りが小さい場合、中性化や塩害を受けやすい	(C)	
地域	①施設の設置場所			塩害、中性化、凍害等の劣化要因を受けやすい場所	(E)	
供用環境	①南向き面の部材			寒冷地で南向きの部材は、表面が乾燥し内面が湿潤のままになると中性化や凍害を起こしやすい	(F)	
	②融雪剤・凍結防止剤の使用			年30回以上散布している地域では塩害を起こしやすい（ダムの天端、頭首工管理橋等で直接散布する箇所）		
	③接水時間が長い（常時）			セメント成分が溶出し、強度が低下する（風化）		
材料	①水セメント比			60%以上の場合、中性化・塩害を起こしやすい	(D)	
	②海砂の使用の有無			塩害の直接的原因となる		
	③反応性材料使用			ＡＳＲの直接的原因となる		
水質	①硫黄分水質（温泉廃水）			コンクリートの化学的腐食が生じる	(H)	
	②工場等の廃水の流入			同上		
	③硬度が小さい（軟水）			酸化カルシウムが溶出し、風化を促進する		
土壌・地盤	①腐食性土壌（泥炭等）			強酸性土壌では中性化を促進する	(G)	
	②地下水位（高い）			凍害・ＡＳＲを促進させる		
				水圧による過荷重が発生しやすい		
地圧	荷重条件	繰返荷重	①自動車荷重	管理橋、道路に極端に接している水路等		
			②自動車以外	流水による振動等の影響を受ける箇所		
		③設計荷重以上の荷重	変形や曲げひび割れ、せん断ひび割れが生じやすい			
			設計当初より荷重が増えているかどうかを検証			
	④極端な偏荷重の作用	構造物の変形・傾きの原因				
		⑤部材条件			耐久性、耐荷性（許容応力等）	
		⑥過去に地震被害を受けた			地震被害を受けやすい環境下にある	
摩耗条件	①高速流			流速7m／s以上では流水摩耗が生じる	(I)	
				急流工、落差工、断面急変箇所など		
	②砂礫・転石の流下			頭首工やダムの放水施設で摩耗が生じやすい		

※備考欄の記号は、2.5.1 (A) 以降の記載項目の記号を示している。

表-2.5.5 劣化要因を推定する視点（水路トンネル）

調査・整理項目			性能低下要因の視点	備考
供用年数	①供用年数		劣化の潜在的可能性	(A)
	②適用基準等		当時の基準や使用材料の特性	(B)
施工年	①中性化の可能性		1978年に鉄筋被りと設計基準強度について規定され、それ以降に造成された構造物は中性化が減少	
	②塩害・ASRの可能性		1986年「コンクリート塩分総量・アル骨暫定対策通達」（建設省・運輸省）により、それ以降に造成された施設では塩害・ASRが減少	
	③施工記録（打込み順序等）		初期ひび割れ、初期欠陥の原因	
地域	①鉄筋被り（坑口、RC覆工）		被りが小さい場合、中性化や塩害を受けやすい	(C)
	②施設の設置場所		塩害、中性化、凍害等の劣化要因を受けやすい場所	(E)
	③接水時間が長い（常時）		セメント成分が溶出し、強度が低下する（風化）	(G)
	地盤	④腐食性土壌（泥炭等）	強酸性土壌では中性化を促進する	
		⑤地下水位（高い）	凍害・ASRを促進させる 水圧による過荷重が発生しやすい	
材料	①部材条件		耐久性、耐荷性（許容応力等）	(D)
	②水セメント比		60%以上の場合、中性化・塩害を起こしやすい	
	③海砂の使用の有無		塩害の直接的原因となる	
	④反応性材料使用		ASRの直接的原因となる	
水質	①硫黄分水質（温泉廃水）		コンクリートの化学的腐食が生じる	(H)
	②工場等の廃水の流入		同上	
	③硬度が小さい（軟水）		酸化カルシウムが溶出し、風化を促進する	
摩耗条件	①高速流		流速7m/s以上では流水摩耗が生じる 急流工、落差工、断面急変箇所など	(I)
	②砂礫・転石の流下		流送土砂量の多い水路で摩耗が生じやすい	
背面地山の地質（岩種）	地山条件	①地質年代・地質名	花崗岩、安山岩などは地圧が無視できる	(J)
			はんれい岩、輝緑岩等は中程度の地圧がかかる	
			泥岩、シルト岩などは地圧の影響が無視できない	
		②断層破碎帯の規模	断層破碎帯の規模が大きいほど地圧が発生しやすい	
特殊地山条件の有無	地山条件	①粘土鉱物	粘土鉱物の多い地山ほど地圧が発生しやすい	(J)
		②地下水	地下水が多いところほど地圧が発生しやすい	
周辺地形	地山条件	①地すべり地帯	トンネルに左右非対称の土圧がかかり、せん断ひび割れを発生しやすい	(J)
		②極端な地山の傾斜		
事故履歴	①事故の状態・原因		当該地点の変状・劣化の特性について把握する	
	②過去に地震被害を受けた		地震被害を受けやすい環境下にある	
	③補修・補強工法		補修・補強の効果	
土かぶり	地盤	①土かぶり	土かぶりが浅いほど地圧が発生しやすい	(J)

※備考欄の記号は、2.5.1 (A) 以降の記載項目の記号を示している。

(A) 供用年数

コンクリート構造物は、供用年数が長くなるほど劣化度が高くなる構造物の割合が増えるが、劣化が殆ど生じない構造物もあり、変状・劣化の進行は一様ではない。コンクリート構造物の劣化進行の特徴は、これまでの実績に基づく以下のように整理される。

- ・ 供用年数を機能診断調査に基づく健全度評価結果の関係を図-2.5.1 に示す。供用年数 40 年以上では、補修・補強の対象となる S-3 以上の割合が 50%を超えることが分かる。

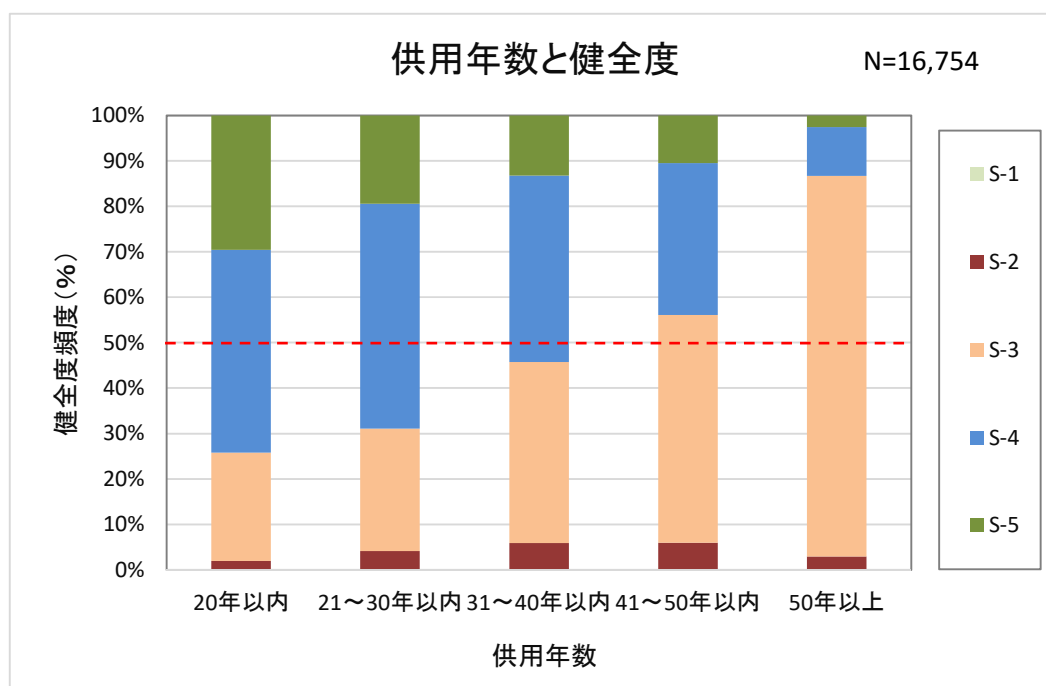


図-2.5.1 供用年数と健全度評価結果

出典：H19～24 年の定点調査を基に利根川水系土地改良調査管理事務所が作成

(B) 施工年

コンクリート構造物に関する様々な規制がこれまで実施されており、その影響によってコンクリート構造物の劣化の発生状況に大きな特徴が見られる。

・ 中性化に関わるもの

鉄筋被りと設計基準強度は 1978 年にコンクリート標準示方書に規定されており、それ以前の施工ではこれらの規定がなかったため中性化が発生しやすい。

・ 塩害及び A S R に関わるもの

1986 年「コンクリートの塩分総量・アル骨暫定対策通達」(建設省・運輸省)により、それ以降造成された施設では塩害が減少、A S R はほとんど発生していないが、以下に

示す劣化に与える地域特性があるため、該当する地域の施設では注意が必要である。

(C) 鉄筋被り

建築基準法などで、鉄筋被りが 30mm未満の構造物は中性化や塩害を起こしやすいとしてこれを最小被りとして既定しているため、30mmを境界として中性化、塩害の劣化因子に加えた。一般の土地改良施設では最小被りを 50mmとしているので適用されるケースはほとんど無いと考えられるが、用排水機場等の建築物では被りが小さく、かつスターラップが 30mm未満になっていることがあるので、項目に入れたものである。

(D) 材料

ほとんどの場合は材料の詳細情報が得られないと考えられるため、地域条件で評価することになるが、水セメント比、海砂使用の有無、反応性骨材の有無が明らかな場合には、劣化要因が確定的となるため、項目に入れたものである。

(E) 地域性

劣化に影響を与える地域性として塩害範囲地域、ASRによる損傷が報告されている地域、凍害危険度の地域区分、複合劣化（ASRと塩害、塩害と凍害、凍害とASR）の可能性がある地域区分が挙げられる。これらに該当する地域に位置する施設では注意が必要である。

以下の地域に位置する施設では、塩害が発生する可能性があるため注意が必要である。

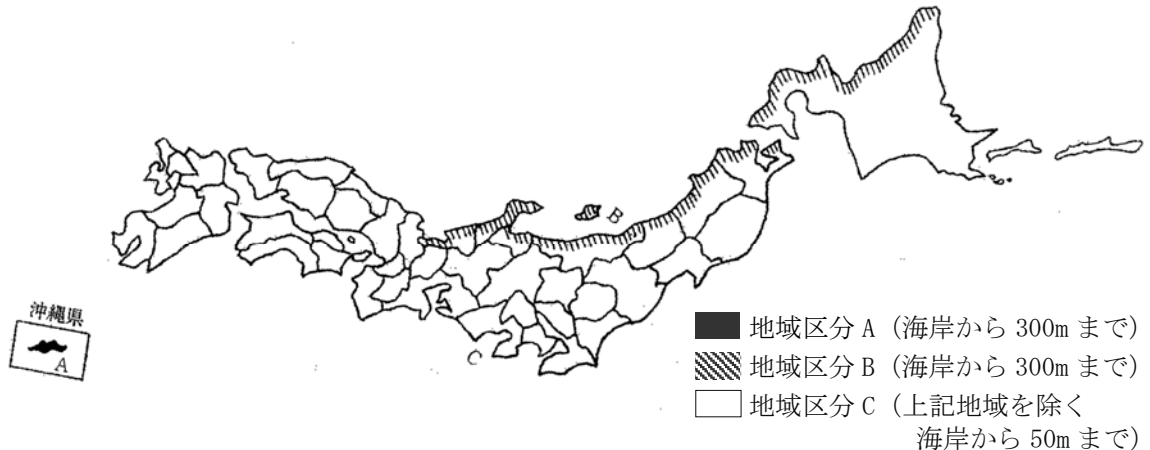


図-2.5.2 塩害範囲地域（道路橋）

出典：「道路橋示方書・同解説Ⅰ計画編Ⅲコンクリート橋編」平成24年（社）日本道路協会 P.176

地域区分の詳細は以下のとおり。

地域区分A：沖縄県

地域区分B：北海道のうち、宗谷総合振興局の稚内市・猿払村・豊富町・礼文町・利尻町・利尻富士町・幌延町、留萌振興局、石狩振興局、後志総合振興局、檜山振興局、渡島総合振興局の松前町・八雲町（旧熊石町の地区に限る。）

青森県のうち、今別町、外ヶ浜町（東津軽郡）、北津軽郡、西津軽郡、五所川原市（旧市浦村の地区に限る。）、むつ市（旧脇野沢村の地区に限る。）、つがる市、大間町、佐井村

秋田県、山形県、新潟県、富山県、石川県、福井県

地域区分C：上記以外の地域

表-2.5.6 塩害をおこしやすい地域区分

周辺環境	地 域 区 分	「道路橋示方書」における対策区分
厳しい	海からの飛来塩分の影響が大きいと考えられる地域、または融雪剤・凍結防止剤（塩化カルシウム、塩化ナトリウム）が年間で30日以上散布される地域（道路に隣接する水利施設の場合）	SまたはI 概ね図-2.5.2の地域区分Aに相当。ただし融雪剤散布地域はこの限りでない。
やや厳しい	上記以外で、海からの飛来塩分の影響があると考えられる地域、または融雪剤・凍結防止剤（塩化カルシウム、塩化ナトリウム）が散布される地域	IIまたはIV 概ね図-2.5.2の地域区分Bに相当。ただし融雪剤散布地域はこの限りでない。
普通	上記のいずれにもあてはまらない地域	影響地域外

除塩の不十分な海砂や塩分を多く含んだ混和剤の使用による塩害劣化も無視できない（内的塩害）。1986年にフレッシュコンクリートの塩分量に関する規制が定められ、1987年以降に建設された構造物の内的塩害の恐れは少ないが、それ以前の構造物のうち、とくに海砂が使用された構造物については、内的塩害の可能性について検討するのが望ましい。

下図の地域に位置する施設では、ASRが発生する可能性があるため注意が必要である。



図-2.5.3 ASRによる損傷が報告されている地域

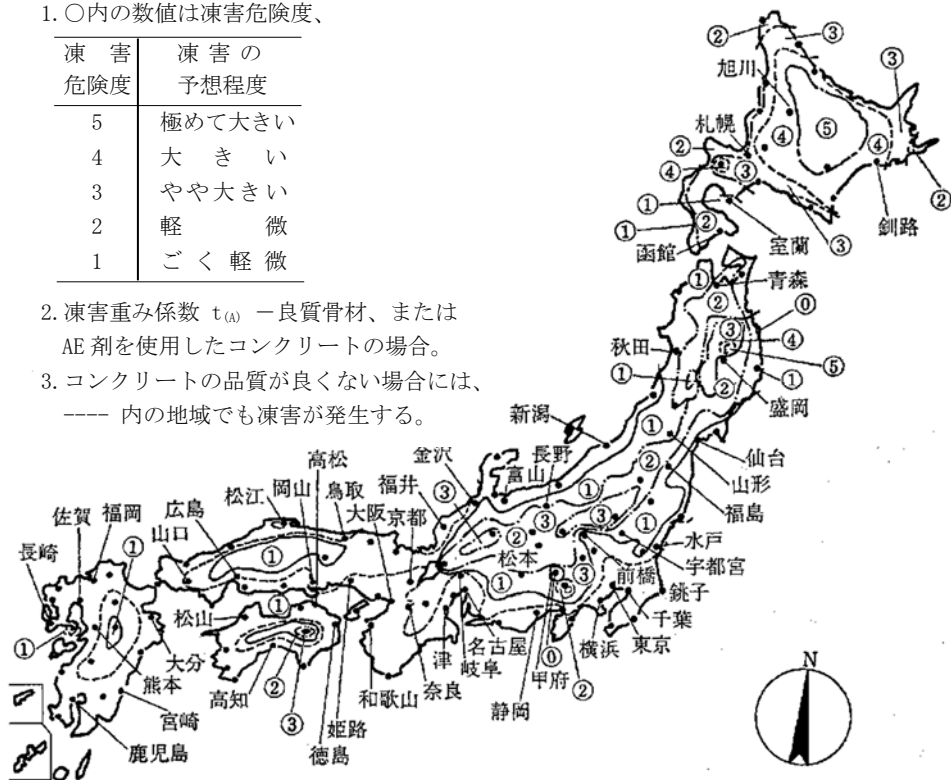
出典：「コンクリート診断技術」15 [基礎編] 社団法人 日本コンクリート工学会」P.230

次頁の地域に位置する施設では、危険度に応じて凍害が発生する可能性があるため注意が必要である。

1. ○内の数値は凍害危険度、

凍害危険度	凍害の予想程度
5	極めて大きい
4	大きい
3	やや大きい
2	軽微
1	ごく軽微

2. 凍害重み係数 $t_{(A)}$ — 良質骨材、または AE 剤を使用したコンクリートの場合。
 3. コンクリートの品質が良くない場合には、
 ---- 内の地域でも凍害が発生する。



なお、凍害危険度は、各地域の毎日の気象資料を基に、外気温に日射の影響も考慮し、危険度のないものを0度として、0～5度の6段階に定めたものである。

図-2.5.4 凍害危険度の分布図

出典：「コンクリート診断技術」15 [基礎編] 社団法人 日本コンクリート工学会」P.47

下図の地域に位置する施設では、ASRと塩害による複合劣化が発生する可能性があるため注意が必要である。

- 凍結防止剤散布地域（積雪日数 10 日以上）と反応性骨材分布の合成分布
- ASRによる構造物の損傷が報告されている地域

ASRと塩害の重複地域



図-2.5.5 ASRと塩害による複合劣化の可能性のある地域

出典：「複合劣化コンクリート構造物の評価と維持管理計画研究委員会 報告書 社団法人 日本コンクリート工学会」P.63

下図の地域に位置する施設では、塩害と凍害による複合劣化が発生する可能性があるため注意が必要である。

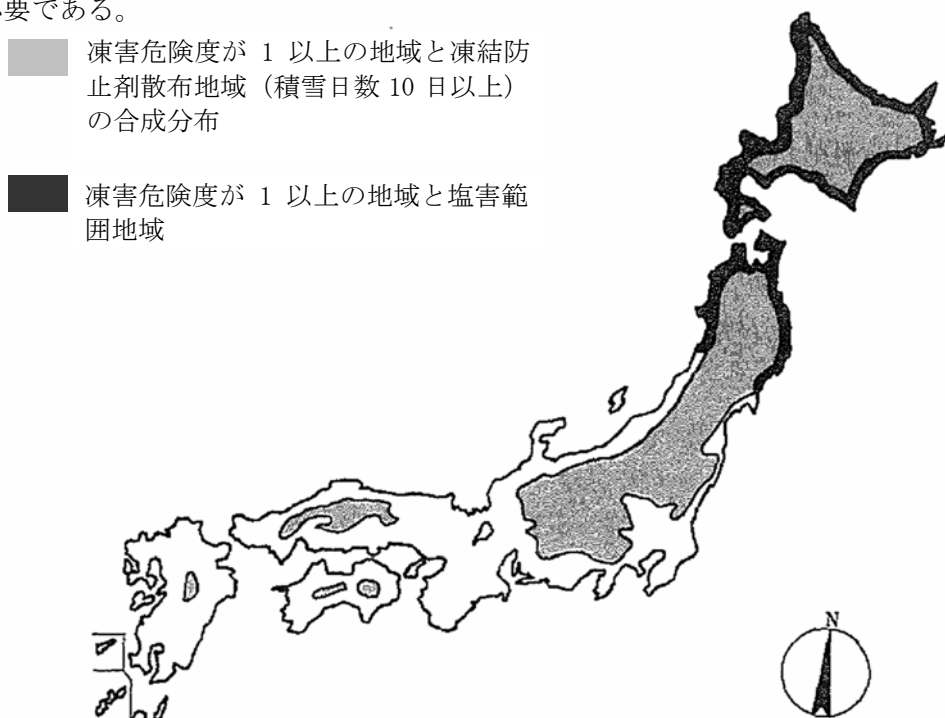


図-2.5.6 塩害と凍害による複合劣化の可能性がある地域

出典：「複合劣化コンクリート構造物の評価と維持管理計画研究委員会 報告書 社団法人 日本コンクリート工学協会」P.62

下図の地域に位置する施設では、凍害とA S Rによる複合劣化が発生する可能性があるため注意が必要である。



図-2.5.7 凍害とA S Rの複合劣化の可能性がある地域

出典：「複合劣化コンクリート構造物の評価と維持管理計画研究委員会 報告書 社団法人 日本コンクリート工学協会」P.64

(F) 南向きの部材

コンクリートが乾燥しやすい条件（低湿度または降雨を遮断）では、中性化の要因である二酸化炭素の拡散係数が大きくなる。実構造物でも日射によって乾燥しやすい南面や西面での中性化速度が大きいことが知られている。そのため、南向きの部材では中性化が発生しやすい。

また、寒冷地における南向きの部材では、凍結・融解を繰り返すため、凍害が発生しやすい。

(G) 土壌地盤

泥炭等の酸性土壌では中性化、A S R等の原因となることがある。また、地下水や地盤の硬軟も構造物の劣化に影響を及ぼす。

(H) 水質

温泉水や化学工場廃液など、コンクリートに悪影響を及ぼす水質が流入する場合に化学的劣化の原因となる。また、硬度の小さい水に常時接するコンクリートは、セメント成分が溶出して強度が低下する。

(I) 摩耗条件

農業水利施設の摩耗には、水流による摩耗と、礫等の転がりによる摩耗が考えられる。一般に流速が 7.0m/s 以上になると、圧力伝播速度を上回りキャビテーションが発生しやすくなり、摩耗が急増するとされている。

※流速 7.0m/s 以上の根拠

「断面急変部、湾曲部など、流水に空気が混入しやすい箇所ではキャビテーションによる摩耗が発生する。キャビテーションによる摩耗は激しく集中的であることが特徴である。一般にキャビテーションが発生する限界流速は 7.0～7.5m/s と言われる。」（ACI Committee 210 ; Erosion of Concrete in Hydraulic Structures ; 米国開拓局）

一般の施設では流速 7.0m/s 以上となることはきわめて稀であるが、常時水に接しているような施設ではコンクリートの成分溶出により表面が脆くなり、遅い流速でも摩耗が生じる場合がある（風化と摩耗の複合）。また、むしろ落差工、急流工、その他の流水急変部では空気の巻き込みによるキャビテーションが発生し、この部分で摩耗が生じやすい。

頭首工のように、河川に設置される構造物では、転石や礫の転がりによる摩耗が見られる。

(J) 地山条件と地圧の関係

水路トンネル特有の劣化としては、地圧による覆工の変状がある。地山の塑性圧や緩み圧の影響による変状として、側壁あるいはアーチ肩部の水路トンネル縦断方向に引張りひび割れ（開口ひび割れ）やインバートの盤膨れ、天端岩盤崩落による天端覆工の欠損などが特徴的に現れるので、ひび割れや欠損の発生場所、形状、及び変形の特徴に注意を払い、地山の圧力による影響かどうかを判断する必要がある。

表-2.5.7 地圧発生の予測方法

評価項目			地圧 小 (A ランク)	地圧 中 (B ランク)	地圧 大 (C ランク)
地質	地質年代、地質名		花崗岩類、安山岩、玄武岩、中生層の砂岩、頁岩、輝緑凝灰岩、ホルンフェルス、石灰岩、チャート、第三紀砂岩、礫岩、第四紀溶結凝灰岩(新鮮部)	はんれい岩、輝緑岩、第三紀凝灰岩、集塊岩、流紋岩類、A ランク岩の中～強風化部	新第三紀層泥質岩（泥岩、シルト岩、凝灰岩等）、未固結堆積物、中生層の頁岩、粘板岩、結晶片岩、千枚岩類、蛇紋岩、温泉余土、プロピライトなどの熱変成岩類
	スレーキング特性	スレーキングの傾向	スレーキングしない	スレーキングしにくい	スレーキングしやすい
		スレーキング区分(浸水崩壊度試験)	0	1～2	3～4
		耐スレーキング特性(スレーキング試験)	高耐久性	中程度	低耐久性
	断層破砕帯		小規模かつ少ない	小～中規模またはやや多い	大規模または多数
	粘土鉱物		粘土鉱物はほとんど含有しない	膨潤性粘土鉱物はほとんど含有しないが、カオリナイト、ディッカイト等の膨張性が小さい粘土鉱物を含む	膨潤性粘土鉱物(スメクタイト、蛇紋石、緑泥石等)を含有
地下水			無	少ない	豊富
外力	地形		尾根地形、平坦面	偏圧地形、リニアメント	極端な偏圧地形、谷地形、地すべり地形、断層地形、岩盤クリープ斜面
	土被り	土被り (A・B 岩種)	50m以上 (5D 以上)	20～50m (2D～5D)	20m以下 (2D 以下)
		土被り (C岩種)	100m以下 (5D 未満)	100～200m (5D～10D)	200m以上 (10D 以上)
	地山強度比		2.5 以上	2.5～1.5	1.5 以下
	地殻変動の有無		地殻変動があまり活発ではない地域	地殻変動がやや活発な地域 B, C ランク活断層周辺、火山地帯	地殻変動が活発な地域 みずほ・フォッサマグナ褶曲帯中央構造線周辺、A ランク活断層周辺、活火山周辺
周辺トンネルの変状事例			無	無	有
評価 (設計上の取り扱い)			標準設計	適宜対応	地圧発生を考慮
※ スレーキング区分は、比較的多用されている土木学会の浸水崩壊試験による。 ※ 耐スレーキング特性は、ISRM の指針による。 ※ 地山強度比：一般にクリープ限界は地山強度の 75%～80%といわれていることから、建設後のクリープの時間依存性等により極端な変形を生じない条件として、地圧の 80%に対する地山強度比とすれば、その値は 2.5 となる。					

出典：「トンネルの変状メカニズム」土木学会（平成 15 年 9 月），P. 48

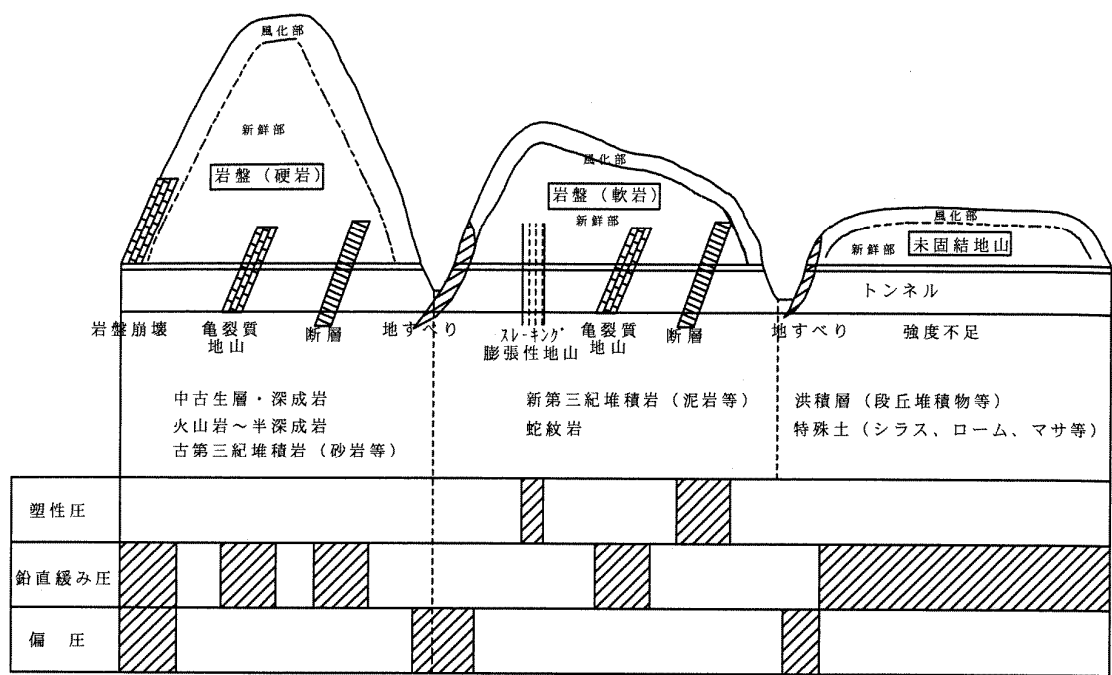


図-2.5.8 地形・地質要因と地圧発生の様式図

出典：「トンネルの変状メカニズム」土木学会（平成15年9月），P.48

2.5.2 パイプラインの場合

パイプラインの現地調査及びその評価を効率的に行うために、劣化因子を、過去の機能診断結果やその他の既往の資料により予め性能低下要因推定表をもとに整理しておく。

パイプラインの性能低下要因推定表は、表-2.5.8、表-2.5.9のように整理され、性能低下要因推定表の評価項目及び評価の視点は、表-2.5.10のように整理される。

パイプラインは鉄鋼系とコンクリート系・樹脂系に区分する。

また、性能低下要因推定表の他、「鋼管腐食防止対策指針 平成8年1月」（関東農政局土地改良技術事務所）、「腐食防食マニュアル 平成10年7月」（農業土木事業協会九州支部）、「WSP マクロセル腐食防食指針 平成20年3月」（日本水道鋼管協会）、「埋設管路の腐食原因とその防食について 平成25年11月」（日本ダクタイル鉄管協会）等の文献が参考となる。

【パイプラインの場合】

表-2.5.8 性能低下要因推定表（鉄鋼系）の例

漏水要因 使用・劣化環境			C/S マクロセル 腐食	電食	土壌 ミクロセル 腐食	管内劣化 (発錆等)	異種金属 通気差等 マクロセル 腐食
施工(通水)年	20年未満		△	△		△	△
	20～40年未満		△	△	△	○	△
	40年以上				△	○	
近傍周辺施設	1km以内に直流電気鉄道等 迷走電流の可能性あり			○			
地下水位	地下水位が管体付近まである		△	△	△		△
土壌の腐食性	腐食性が疑われる土壌				○		
流量	所定水圧化の流量減少					○	
水質	内面 塗装	塗装なし（溶接部含む）				○	
配管条件	15m以内にコンクリート構造物との接触 あり		○				
	異種金属接触あり						△
	通気差あり（砂/粘土、湿潤状態等）						△
管体漏水歴 (直近10年)	あり、又は条件類似箇所であり (偶発的外力によるものを除く)		◎	◎	◎	◎	◎
◎と○がある場合や、 ○△、○等で重要度が高い施設等で行う調査			管対地 電位測定	電位勾配測定 管対地 電位測定	ANSI 土壌調査	管内目視 調査	事故履歴を 詳細分析

表-2.5.9 性能低下要因推定表（コンクリート系・樹脂系）の例

漏水要因 使用・劣化環境			カバーコート 腐食 (PC)	継手漏水	管体破損 (RC)	管体破損 (FRPM)
施工(通水)年	20年未満			△		
	20～30年未満		△	△		
	30～45年未満		△	○		
	45年以上		△	○	△	
地上部の地形 土質条件 地盤の硬軟	地盤沈下等による管への影響あり			○		
	設置位置が谷地形		△			
地下水位	地下水位が管体付近まである		△			
	有機物を含む土壌を通過して供給		○			
使用水圧	使用水圧0.3MPa以上			△		△
	水 管 状 況 管 理	バルブ急閉の可能性あり		△		△
		日常的空気連行の可能性あり		△		△
管体漏水歴 (直近10年)	あり、又は条件類似箇所であり (偶発的外力によるものを除く)		◎		◎	◎
継手漏水歴 (直近10年)	あり、又は条件類似箇所であり (偶発的外力によるものを除く)			◎		
◎と○がある場合や、 ○△、○等で重要度が高い施設等で行う調査			地下水 水質調査	位置絞込 管内調査 (テストバント®等)	(事故履歴を詳細分析)	

表-2.5.10 性能低下要因を推定する視点（パイプライン）

調査・整理項目		調査内容	性能低下要因推定の視点	備考	
				鉄鋼系	コンクリート・樹脂系
管路諸元	①管種・口径等	規格・製造年・製造方式・材料等	管種別の主要な変状の把握		
	②継手形式	継手種別（フランジ、溶接、融着、接着、ソケット、カラー等） 止水材料種別（ゴム輪、接着材等）	継手：種別ごとの劣化要因（ゆるみ、接合部の劣化） 止水材：年代別の品質不良、劣化要因		
	③設計・施工基準	構造設計方式、施工方式	要求性能の変化（耐荷力不足等）		
	④施工（通水）年	供用経過年数	参考耐用年数との関係	(a)	
埋設環境	①地上部の土地利用・荷重	地上部の土地利用条件（施工時との変化） 荷重条件（設計時との変化）	荷重の増大、要求性能の変化（耐荷力不足等） 活荷重の影響の大きさ（耐荷力、地盤ゆるみ）	(b)	
	②地上部の地形	平面縦断図等	地形変化点の不同沈下		(c)
	③近傍周辺施設	高圧鉄塔、直流電気鉄道の有無	電食の可能性	(d)	
	④土質条件	既存ボーリングデータ等	液状化による地盤のゆるみ、不同沈下		(e)
	⑤地盤の硬軟	既存ボーリングデータ等	支持力不足等の地盤のゆるみ 地盤変化点による不同沈下		(f)
	⑥地下水位	地下水位の高さ	PC管のカバーコート劣化、外面腐食	(g)	
	⑦土壌の腐食性	ANSI の土壌評価基準等	鋼材系材料の外面腐食、PC管のカバーコート劣化	(h)	(i)
使用環境	①使用水压	設計時の静水压 水撃圧、水管理状況（水压の低下の有無）	腐食等による管内閉塞の有無、バルブの操作管理		(j), (k) (l)
	②流量	計画流量・最小流量	内面摩耗 土砂、ゴミ堆積・空気連行による通水障害	(m)	
	③水質	腐食性水質、ランゲリア指数、侵食性遊離炭酸濃度、地下水位	鋼材系材料の腐食	(n)	
	④配管条件	コンクリート構造物や異種金属との接触、バルブ等の操作管理	マクロセル腐食の有無 過剰水压、空気連行	(o), (p), (q)	
事故履歴	①漏水・破損事故履歴	漏水箇所、事故率	事故頻度、傾向の分析に基づく事故再発の可能性の推定 類似する過去事例から劣化要因を把握	(r)	
	②補修履歴	補修履歴	類似する過去の補修工法の種別から、性能低下要因を把握		

※備考欄の記号は、2.5.2 (a) 以降の記載項目の記号を示している。

(a) 施工（通水）年

鉄鋼系パイプラインについては、供用年数が 20 年以上経過した場合は管内の劣化が進んでいる可能性が高くなる。

コンクリート系・樹脂系パイプラインについては、近年の漏水事故調査結果より、供用年数が 30 年を経過した場合は継手部からの漏水が発生する可能性が高くなる。

(b) 地上部の土地利用・荷重

管路の敷設当時の土地利用条件と現況に変化が生じた場合、管体に過大な荷重や偏土圧を生じ、管体の損傷につながるおそれがあるため、下記のような敷設条件の場合は留意する必要がある。

- ・ 宅地下を通る管路（耕地から宅地になり、上載荷重が変化）
- ・ 耕地から道路になった所、又は道路拡幅が行われた所を通る管路
- ・ 開発等の掘削に伴う埋設深が減少した所（変動荷重の増加、管体浮上等）

(c) 地上部の地形、(e) 土質条件及び (f) 地盤の硬軟（地盤沈下等による管への影響）

コンクリート系・樹脂系パイプラインについては、支持力不足の地盤のゆるみ等による不同沈下により管芯のずれや交角度の増大が生じ漏水が発生する可能性がある。

(d) 近傍周辺施設（迷走電流の可能性）

鉄鋼系パイプラインでは、配管部から 1km 以内に直流電気鉄道や変電所等の電気設備がある場合、直流電流が土壤中に漏洩し、その影響により電食が発生する可能性が高い。

(g) 地下水位

地下水位が管体付近までである場合や変動が大きい場合には、地下水に含まれる腐食因子により腐食が発生する可能性がある。

鉄鋼系パイプラインについては、C/S マクロセル腐食、電食、土壌ミクロセル腐食、異種金属通気差等マクロセル腐食が発生する可能性がある。

コンクリート系パイプラインについては、カバーコート腐食が発生する可能性がある。

(h) 土壌の腐食性（鋼管系）

鉄鋼系パイプラインについては、漏水は極めて稀であるが、埋設環境に腐食性土壌がある場合は漏水が発生する可能性がある。

【腐食性土壌が疑われる地域または土壌】

- ・ 酸性の工場廃液や汚濁河川水などが地下に浸透した地域
- ・ 海浜地帯、埋立て地帯など地下水に多量の塩分を含む地域
- ・ 硫黄分を含む石炭ガラなどで盛土や埋立てされた地域
- ・ 温泉地等で土壌環境に侵食性がある地域
- ・ 廃棄物による埋立地帯や湖沼の埋立て地
- ・ 泥炭地帯
- ・ 腐植土、粘土質の土壌

- ・海成粘土など酸性土壌
- ・青灰色を呈す土壌

(i) 土壌の腐食性（コンクリート・樹脂系）

コンクリート系パイプラインについては、埋設環境に有機物を含む土壌がある場合、侵食性遊離炭酸が地下水により供給され、カバーコートの腐食が発生する可能性が高くなる。

(j) 使用水圧

コンクリート系・樹脂系パイプラインについては、使用圧力が 0.3MPa 以上の場合、継手漏水及び管体破損への影響の可能性はある。

(k) 水管理（バルブ急閉）及び (l) 日常的空気連行の可能性

コンクリート系・樹脂系パイプラインについては、バルブ急閉及び日常的空気連行の可能性がある場合は継手漏水及び管体破損への影響の可能性はある（可能性の有無は、施設管理者からの聴き取り結果及び、条件が等しい類似地区の実績等により判断する）。

(m) 流量

鉄鋼系パイプラインについては、所定水圧下の流量低下がある場合、管内面に何らかの変状（土砂堆積等含む）がある可能性が高い。

(n) 水質

内面腐食に影響を及ぼす因子としては、溶存酸素・温度・流速・pH 値・溶存塩類・電気伝導度（比抵抗の逆数）および硫酸塩還元バクテリアなどが挙げられる。

中性の水中では、鉄系金属は腐食の進行に溶存酸素が必要である。しかし、逆に酸素濃度が高すぎると、鉄は不動態化して腐食速度は低下する。

このため、鉄鋼系パイプラインの場合、内面塗装がない場合は発錆が発生する可能性が高い。

(o) 配管条件（コンクリート構造物との接触）

鉄鋼系パイプラインについては、C/S マクロセルは鉄鋼系で最も多い劣化であり、過去に漏水があった箇所でコンクリート構造物との接触があれば C/S マクロセル再発の可能性が高い。

(p) 配管条件（異種金属接触）、(q) 配管条件（通気差）

鉄鋼系パイプラインについては、鋼管とステンレス製伸縮管との接続等の異種金属との接触や、配管が粘性土と砂質土にまたがって埋設される場合、及び埋設深さの差による通気差がある場合はマクロセル腐食が発生する可能性がある。

(r) 漏水・破損事故履歴

管体漏水歴があり劣化要因除去がなされてなければ再発又は類似箇所の発生の可能性が高い（劣化要因の除去がなされていればこの限りではない）。

2.6 機能診断調査計画の立案

機能診断調査の実施に当たっては、事前に対象施設の概要を把握することが重要である。

このため、機能診断調査計画の立案においては、土地改良区管内図、施設の台帳や過去の機能診断調査結果を確認し、対象施設のリストアップを行う。

また、農業水利施設の診断においては、断水が必要となることも多いため、土地改良区との詳細な協議を行い、調査期間や調査範囲の設定に留意する。

【解説】

機能診断調査は、目視と簡易な計測・試験により実施する調査である。これらの調査を実施するに当たっては、農業水利施設の水位や流速などの条件を確認する必要がある。

機能診断調査では、水位を低下させて通常では流水下にある範囲まで目視することが望ましい。しかしながら、通年通水している施設も多いため、施設の重要度や土地改良区の事情を勘案して、調査計画を立案する。

機能診断調査計画立案時の留意事項

機能診断調査計画を立案する際には、以下の点に留意することが必要です。

- 農業水利施設へのアクセスはどうなっているか？
- 安全対策は万全か？
- 断水は可能か？断水した場合に水位を低下させることができるか？
- 目視はどの範囲まで可能か？簡易な仮設を設置する必要があるか？
- 道路の交通や周辺住民への影響はないか？
- 頭首工の電源設備の位置や操作方法はどなっているか？



3. 機能診断評価（現地調査結果に基づく健全度評価）

3.1 機能診断評価

機能診断評価は、工種別の機能診断調査結果について、施設状態評価表に基づいて実施する。この際の評価は、施設の機能に影響を与える要因別に判定する。

これは、劣化要因の区分を行うことで、施設の劣化特性の把握や有効な保全対策の立案に役立てるためである。

【解説】

施設の性能低下には、かならずその要因が存在し、当該要因の内容により、現状評価や劣化予測の手法が異なる。このため、施設の性能低下に関わる要因が複数ある場合（例えば、ひび割れや中性化等の進行が見込まれるが、地盤変形の継続の影響も大きいと見込まれる場合）には、今後の性能低下により影響すると思われる支配的要因を検討し、その評価区分を採用する。

特に、施設機械は、構成部品の一部に異常が発生した段階で設備全体の機能停止に至る場合があるので、重要度や劣化の影響度が高い部位の余寿命を参考に総合的に判断する。

<土木施設の性能低下の支配的要因>

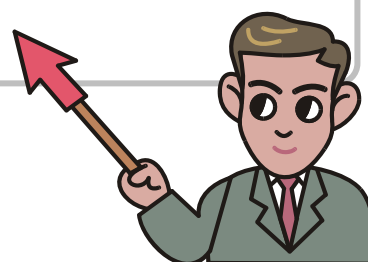
- ・コンクリート等材料そのものの劣化
コンクリートの摩耗、中性化、凍害、複合的な劣化など
- ・外力による変形・変位
地震、荷重、圧密沈下など
- ・その他の要因（目地・ゴム輪などの変状）

<施設機械設備の性能低下の支配的要因>

- ・部材そのものの劣化
機械的、熱的、電氣的、環境、複合的な要因による劣化
- ・外力による変形・変位
地震など

劣化要因と劣化予測、保全対策

施設の変状は、経年的な劣化や突発的な外力など多様な原因で生じます。当然、これらの変状の進行の仕方は異なりますし、対策の立て方も違います。劣化要因別に機能診断評価を行うことは、これらの要因別の劣化の特性を把握し、効率的な保全対策を立案するために重要な事項です。



3.1.1 土木施設の機能診断評価

機能診断評価は、現地調査票に基づいて現地調査（近接目視・定量計測）地点毎に評価する。この際の評価手順のイメージを下図に示す。基本的に健全度の評価は、各評価項目における評価区分が異なる場合には、最も厳しい評価（S-4とS-3があれば、S-3）を採用する。総合評価については、それまでの評価の過程を検証し、必要に応じて現場条件等の確認や専門技術者の協力を得る等して、総合的な技術的判断(エンジニアリングジャッジ)によるものとする。

なお、支配的要因の検討やエンジニアリングジャッジ等の結果を踏まえ、施設状態評価表で区分される評価とは異なる評価区分を採用する際には、どのような考え方にに基づきその評価を行ったのかについて、記録しておくことが重要である。

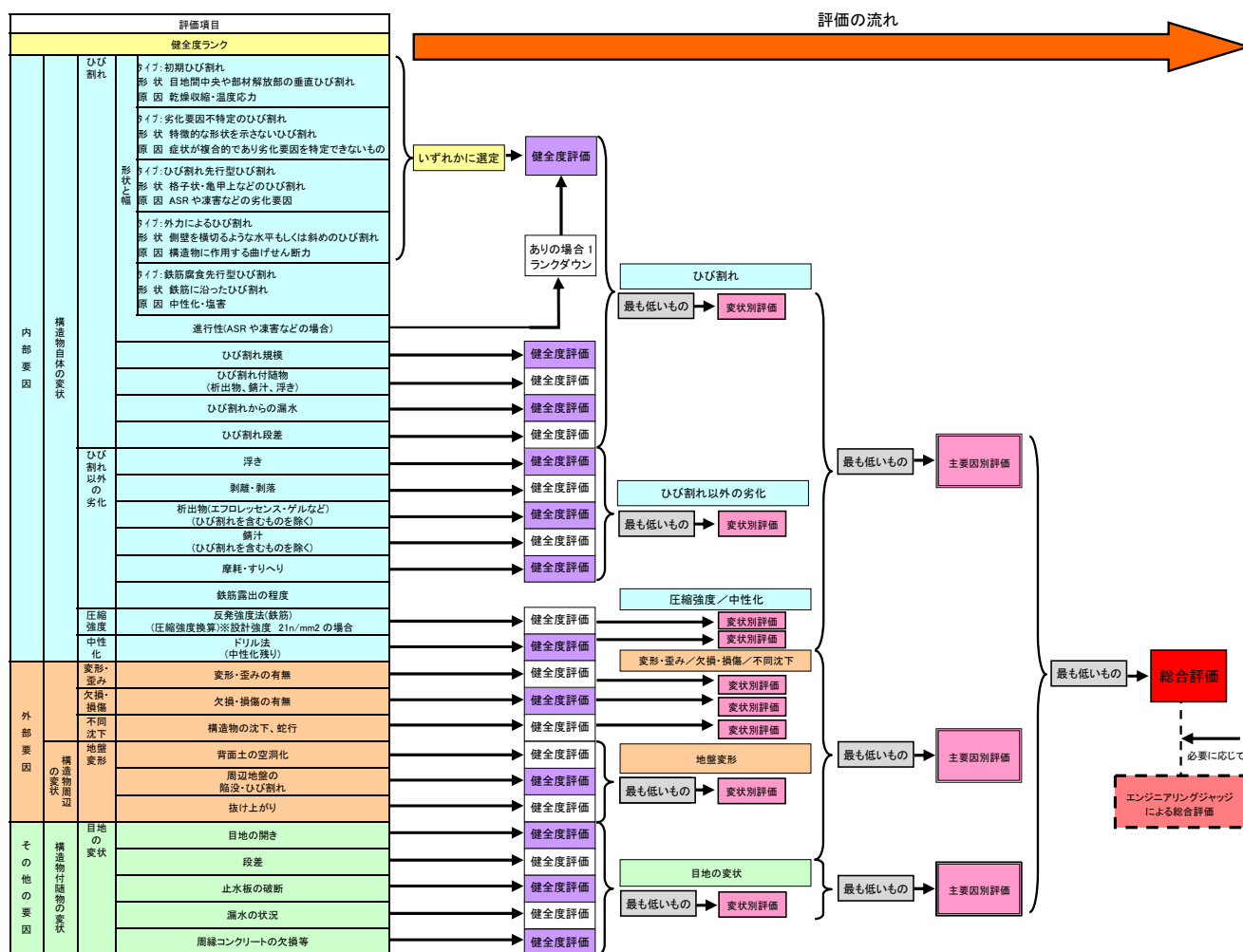


図-3.1.1 健全度評価のイメージフロー

語句（内部要因・外部要因・その他の要因）の使用について

施設状態評価表では、①コンクリート等材料そのものの劣化を「内部要因」、②構造物の変形・変位の要因となる外力を「外部要因」、③目地・ゴム輪の変状などを「その他の要因」として分類し、整理しています。

3.1.2 施設機械設備の機能診断評価

施設機械設備の機能診断評価は、部位の健全度評価結果から装置の健全度を評価し、さらに装置の健全度評価結果から設備の健全度を評価する。

部位の評価は、一つの部位に対して複数の劣化現象について評価を行うため、異なる健全度が混在する場合は、劣化現象の影響度などを加味し、性能低下を進行させる支配的な要因を示す調査項目の健全度ランクを部位の健全度の代表とする。

装置の評価は、「部位の重要度」や「劣化の影響度」の他にS－3、S－2評価となった部位の数やエンジニアリングジャッジなどを含め、総合的に評価する。

表-3.1.1 に設備・装置・部位の健全度評価の考え方を示す。下表の例では、主ポンプの軸封部の健全度はS－2となっているが、部位の重要性と劣化の影響度が他の部位に比べ低いため、軸受部の健全度評価S－3を装置の健全度として評価している。

表-3.1.1 設備・装置・部位の健全度評価の考え方（例）

装置	形式	調査部位	部位の重要度	調査項目	劣化の影響度	健全度評価 (部位)	健全度評価 (装置)	設備の健全度
主ポンプ	縦軸軸流ポンプ	ケーシング部	A	損傷、ひび割れ	A	S－4	S－3	S－3
		インペラ・主軸部	A	損傷、ひび割れ	A	S－4		
		軸受部	A	摩耗、損傷	A	S－3		
		軸封部	B	腐食、摩耗	B	S－2		
動力伝達装置	減速機	ケーシング部	A	損傷、ひび割れ	A	S－4	S－3	S－3
		歯車部	A	バックラッシュ	A	S－3		
		軸受部	A	摩耗、損傷	A	S－4		
主原動機	電動機	固定子部	A	破損、絶縁低下	A	S－4	S－4	S－4
		回転子部	A	破損、絶縁低下	A	S－4		
		軸受部	A	摩耗、損傷	A	S－4		

※上表の項目はイメージを表すため便宜的に代表的なものを記載。

※上表は、維持管理費の経年増加や装置等の陳腐化による入手困難性が無い場合の例。

※劣化の影響度は、診断項目の劣化内容が部位にとってどの程度影響を及ぼすかを3ランク（A：影響度大、B：影響度中、C：影響度小）に区分。

なお、機能保全の手引き「ポンプ場（ポンプ設備）」、「除塵設備」の参考資料編に部位の調査項目毎に健全度ランクの判定表が整理されているため、評価の参考とする。

診断種別	概略診断調査、詳細診断調査 [7]
調査項目	油漏れ
調査方法	目視
対象部位	主ポンプ、主電動機、減速機、ディーゼル機関、弁類、補機類

【解説】

油漏れの原因は、ゴムリングやオイルシール等の劣化によるもの、グリースやオイルの過剰な給油によるもの、油配管の継ぎ手部から漏るなど、多種多様である。

油漏れは、機場の美観を損なうだけではなく、軸受部などの油量が少なくなると、重大な損傷を招くことがあるので、日頃から状態監視を行い、異常を早期に発見する必要がある。

（１）調査方法

軸受部やケーシング合わせ面や床面等に油漏れや油漏れ跡がないか目視調査する。

新しい油漏れがあったら施設管理者に報告する。

（２）調査箇所

主ポンプ、主電動機：軸受部

減速機：軸受部、本体及び油配管部

ディーゼル機関：機関本体及び油配管の全体

弁類：軸受部

補機類：軸受部、油配管等

（３）判定基準

各部の油漏れを目視調査する。

表 5. 2. 54 健全度の判定の例（油の場合）

健全度ランク	評 価 基 準
S－4	油漏れがないこと
S－3	にじんんでいる程度の油漏れがある
S－2	油が滴下している

表 5. 2. 55 健全度の判定の例（グリースの場合）

健全度ランク	評 価 基 準
S－4	にじんんでいる程度の油漏れがある
S－3	－
S－2	グリースがドレーン部や軸受部からはみ出している



ポンプ軸受部の油
漏れ（油がにじん
でいる）



電動機の軸受部
の油漏れ（漏れた
跡 にじんしてい
る）

（引用文献：農業水利施設の機能保全の手引き「ポンプ場（ポンプ設備）」（参考資料編）（平成 25 年 4 月）

3.2 機能診断評価の方法

施設の健全度の評価は、施設種類、構造等を踏まえて、施設の性能低下に関係するそれぞれの要因についての評価区分を設定した施設状態評価表を用い、機能診断調査の結果により行う。複数の要因が影響している場合には、劣化を進行させるより支配的な要因や、施設全体の機能に及ぼす影響を考慮して評価する。

【解説】

機能診断評価は、工種別の現地調査（近接目視、計測）結果を施設状態評価表に当てはめることで実施する。

この施設状態評価表は、個別の変状項目について健全度を評価し、各評価項目における評価区分が異なる場合には、基本的には最も厳しい評価を採用（施設機械設備では部位の重要度を加味）する。表-3.2.1 に鉄筋コンクリート開水路、表-3.2.2 にパイプライン、表-3.2.3 にポンプ設備の施設状態評価表記載例を示す。

機能診断調査においては、構造物の劣化進行過程に関するデータも同時に蓄積するものとし、今後の機能診断データの蓄積に応じて、劣化現象別の評価や対策工法の検討に移行する。

また、当該施設のある都道府県における水土里情報GIS（水土里ネット）より、施設座標を入手し、定点調査票の枠外にある所定の欄に入力しておくことが望ましい。

機能診断評価の実務

現地調査で記録した「現地調査（近接目視・計測）票」に基づき、農業水利ストック情報データベースの機能診断情報を入力すると、機能診断評価（主要因別評価まで）が自動的に実施されます。

また、調査編資料に添付されている現地調査（近接目視・定量計測）票ファイル（Microsoft Excel ベースで作成）を用いても、現地調査（近接目視・定量計測）票の入力により、機能診断評価（主要因別評価まで）を自動判定することができます。

ただし、最後の総合評価については、現地の状況を勘案し、評価者が総合的な判断のもと、記入することになっています。

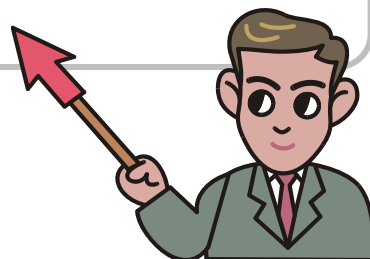


表-3.2.1 機能診断調査結果に基づく施設状態評価表（鉄筋コンクリート開水路）記載例

注）必ず記載すること（以降の様式も同様）。特に定点番号の記載漏れに注意する。

地区名	S地区	評価年月日	平成22年10月24日
施設名	K幹線水路	評価者	山田 太郎
定点調査番号	1801	調査地点 (測点等)	No. 5+0.05~No. 5+12.05
施設の状態	S-5:変状なし S-4:変状兆候 S-3:変状あり S-2:顕著な変状あり S-1:重大な変状あり		

評価項目			評価区分				評価の流れ→			
							変状別 評価	主要因 別評価	施設状態 評価	
健全度ランク			S-5	S-4	S-3	S-2				
内部要因	構造物 自体の変状	ひび割れ	タイプ:初期ひび割れ 形状:目地間中央や部材解放部の垂直ひび割れ 原因:乾燥収縮・温度応力	最大ひび割れ幅 0.2mm未満	最大ひび割れ幅 [0.2mm~0.6mm] 0.2mm~1.0mm	最大ひび割れ幅 [0.6mm以上] 1.0mm以上	S-3に該当するものが 全体的	S-3	S-3	
		形状と幅	タイプ:劣化要因不特定のひび割れ 形状:特徴的な形状を示さないひび割れ 原因:症状が複合的であり劣化要因を特定できないもの	最大ひび割れ幅 0.2mm未満	最大ひび割れ幅 [0.2mm~0.6mm] 0.2mm~1.0mm	最大ひび割れ幅 [0.6mm以上] 1.0mm以上	S-3に該当するものが 全体的			
		タイプ:ひび割れ先行型ひび割れ 形状:格子状・亀甲状などのひび割れ 原因:ASRや凍害などの劣化要因	最大ひび割れ幅 0.2mm未満	最大ひび割れ幅 [0.2mm~0.6mm] 0.2mm~1.0mm	最大ひび割れ幅 [0.6mm以上] 1.0mm以上	S-3に該当するものが 全体的				
		タイプ:外力によるひび割れ 形状:側壁を機軸するような水平もしくは斜めのひび割れ 原因:構造物に作用する曲げ・せん断力	最大ひび割れ幅 0.2mm未満	最大ひび割れ幅 [0.2mm~0.6mm] 0.2mm~1.0mm	最大ひび割れ幅 [0.6mm以上] 1.0mm以上	S-3に該当するものが 全体的				
		タイプ:鉄筋腐食先行型ひび割れ 形状:鉄筋に沿ったひび割れ 原因:中性化・塩害	無		有	S-3に該当するものが 全体的				
		進行性(ASRや凍害などの場合)	有りの場合1ランクダウン							
		ひび割れ規模	① ひび割れ密度 (ひび割れ幅 0.2mm以上) 50cm/m ² 以上				S-3に該当するものが 全体的			
		ひび割れ付随物 (析出物、錆汁、浮き)	無		② 有	又は 流水、噴水				
		ひび割れからの漏水	無		③ 滲出し、漏水跡、滴水					
		ひび割れ段差	無			有				
	ひび割れ以外 の劣化	浮き	無	部分的	全体的		S-3	S-3		
		剥離・剥落	無	部分的	全体的					
		析出物(フロンセス・ゲルなど) (ひび割れを含むものを除く)	部分的(S-4の場合 以外)	全体的又は鉄筋に 沿った部分的						
		錆汁 (ひび割れを含むものを除く)	無	有						
		摩耗・すりへり	細骨材露出	粗骨材露出	粗骨材剥落					
			全体的の場合、1ランクダウン							
		鉄筋露出の程度	無		部分的	全体的				
		圧縮強度 反発強度法(鉄筋) (圧縮強度換算)※設計強度 21N/mm2の場合	21N/mm2以上 (設計基準強度比 100%以上)	15N/mm2以上~ 21N/mm2未満 (設計基準強度比75% 以上100%未満)	15N/mm2未満 (設計基準強度比75% 未満)					
		中性化 ドリル法 (中性化残り)	残り10mm以上		残り10mm未満		S-5			
外部要因	構造物 周辺の 変状	変形・歪み	変形・歪みの有無	無		局所的	全体的	S-5	S-3	
		欠損・損傷	欠損・損傷の有無	無		局所的	全体的	S-3		
		不同沈下	構造物の沈下、蛇行	無		局所的	全体的	S-5		
	目地の 変状	地盤変形	背面土の空洞化	無	局所的	全体的		S-5		
			周辺地盤の 陥没・ひび割れ	無	局所的	全体的				
			抜け上がり	無	20cm未満	20cm以上~ 50cm未満	50cm以上			
その他の 要因	構造物 付随物 の変状	目地の変状	目地の開き	無	局所的	全体的		S-4	S-4	
			段差	無	局所的	全体的				
			止水板の破断	無		有				
			漏水の状況	無	漏水跡、滲出し、滴水	流水、噴水				
			周縁コンクリートの欠損等	無	局所的	全体的				

(評価の流れにおける、主要因別評価及び施設状態評価の判定の考え方)

- 注1) ひび割れ幅における[0.6mm]は、厳しい腐食環境の場合に適用する。
- 注2) ひび割れの規模に係る評価区分S-3は、①+②又は①+③を満たす場合に該当する。
- 注3) 「部分的」とは概ね全体の50%未満を示し、「全体的」とは全体の50%以上を示す。
- 注4) ひび割れ先行型ひび割れのうち、ASRや凍害などにより現在においても進行性があると判断できる場合は健全度ランクを「1ランクダウン」。
- 注5) 圧縮強度及び中性化の調査は、必要に応じて実施する。
- 注6) 「変形・歪み」、「地盤変形」などにおける「局所的」とは施設の一部で当該変状が生じている状態を指し、「全体的」とはそれが構造物全体に及んでいる状態を指す。
- 注7) 変状別評価から主要因別評価を行う場合は、最も健全度が低い評価を代表値とする。
- 注8) S-1の評価は、この評価表によらず評価者が技術的観点から個別に判定する。
- 注9) 主要因別評価から施設状態評価を行う場合は、最も健全度が低い評価を代表値とすることを基本とする。なお、今後、性能低下を進行させる、より支配的な要因や、施設の機能に及ぼす影響がある場合には、これを考慮して評価する。
- 注10) 摩耗すりへの1ランクダウンについては、水利用機能、水理機能に支障がなければ、1ランクダウンを行わないものとする事ができる。

以下に「鉄筋コンクリート開水路の施設状態評価表」の記入に当たっての注意事項を示す。

健全度ランク				
要 因	自 体 の 変 状	ひび割れ と形 状	タイプ：初期ひび割れ 形状：目地間中央や部材解放部の垂直ひび割れ 原因：乾燥収縮・温度応力	最大ひび割れ幅 0.2mm未満
				最大ひび割れ幅 [0.2mm～0.6mm] 0.2mm～1.0mm
				最大ひび割れ幅 [0.6mm以上] 1.0mm以上
				S-3に該当するものが 全体的

① ひび割れ幅における 0.6 mm は、厳しい腐食環境の場合に適用する。

健全度ランク				
内 部 要 因	構 造 物 自 体 の 変 状	ひび割れ	ひび割れ規模	ひび割れ付随物 (析出物、錆汁、浮き)
			① ひび割れ密度 (ひび割れ幅 0.2mm以上) 50cm/m ² 以上	無
			② 有	無
			③ 滲出し、漏水跡、滴水	無
			S-3に該当するものが 全体的 又は 流水、噴水	

② ひび割れの規模に係る評価区分 S-3 は、①+②又は①+③を満たす場合に該当する。

健全度ランク				
ひび割れ以 外の劣化	浮き	無	部分的	全体的

③ 「部分的」とは概ね全体の 50%未満を示し、「全体的」とは全体の 50%以上を示す。

健全度ランク				
ひび割れ と形 状	タイプ：ひび割れ先行型ひび割れ 形状：格子状・亀甲状などのひび割れ 原因：ASRや凍害などの劣化要因	最大ひび割れ幅 0.2mm未満	最大ひび割れ幅 [0.2mm～0.6mm] 0.2mm～1.0mm	最大ひび割れ幅 [0.6mm以上] 1.0mm以上
	進行性 (ASRや凍害などの場合)			S-3に該当するものが 全体的
				有りの場合1ランクダウン
				S-2

④ ひび割れ先行型ひび割れのうち、ASR や凍害などにより現在においても進行性があると判断できる場合は健全度ランクを「1ランクダウン」。

健全度ランク		S-5	S-4	S-3	S-2
変形・歪み	変形・歪みの有無	無		局所的	全体的
欠損・損傷	欠損・損傷の有無	無		局所的	全体的
不同沈下	構造物の沈下、蛇行	無		局所的	全体的
地盤変形	背面土の空洞化	無	局所的	全体的	

⑤ 「変形・歪み」、「地盤変形」などにおける「局所的」とは施設の一部で当該変状が生じている状態を指し、「全体的」とはそれが構造物全体に及んでいる状態を指す。

健全度ランク				
摩耗・すりへり	細骨材露出	粗骨材露出	粗骨材剥落	変状別 評価
				S-4
				全体的の場合、1ランクダウン

⑥ 摩耗すりへりの1ランクダウンについては、水利用機能、水理機能に支障がなければ、1ランクダウンを行わないものとすることができる。

表-3.2.2 機能診断調査結果に基づく施設状態評価表（パイプライン）記載例

地区名		SK地区		評価年月日		平成22年10月24日	
施設名		第2号A幹線		評価者		山田 三郎	
定点番号		1845		調査地点 (測点等)		2号-2号-1区間 (FRPMφ1000)	
施設状態		S-5;変状なし S-4;変状兆候(要観察) S-3;変状あり(補修) S-2;顕著な変状あり(補強) S-1;重大な変状あり(改築)					
評価項目		評価区分				評価の流れ→	
健全度ランク		S-5	S-4	S-3	S-2	変状別	要因別 総合評価
漏水	漏水の進行(全管種)※1	無	－	有	－	S-3	S-3
管内面調査 管路の変状	ひび割れ(RC,PC,ACP)	無	－	有	－	S-3	S-3
	ひび割れ(FRPM)	無	－	－	有		
	沈下(全管種)	無	0～10cm未満	10cm～20cm未満	20cm以上		
	進行性(全管種)	有りの場合1ランクダウン					
	継手曲げ角度(SP以外)	許容曲げ角度の1/2以内	許容曲げ角度以内	許容角度超や芯ずれ等で浸入水・不明水あり	－		
	進行性	有りの場合1ランクダウン					
	継手間隔等(溶接又は接着継手は除く)	施工管理基準規格値内	規格値外だが浸入水・不明水なし	大幅・全面的に規格値外等で浸入水・不明水あり	－		
	進行性	有りの場合1ランクダウン					
	発錆状況(SP,DCIP)	無	軽微な錆が点在	一定範囲で全体的に錆が確認される	－		
	進行性	有りの場合1ランクダウン					
	たわみ量(SP,DCIP,FRPM)	4%以内	4%超5%以内	5%超	－		
	進行性	有りの場合1ランクダウン					
	テストバンド(φ900mm以上ソケットタイプ) (静水圧で5分間放置後の水圧)	80%超	－	80%以下	－		
※1漏水については施工時(初期値)と比較して漏水量が増えている場合“有”とする。ただし、施工時(初期値)がない場合は、許容減水量(土地改良事業計画設計基準・設計「パイプライン」を参照)を超える場合を“有”と判断する。							
詳細調査※2	試掘調査	鉄鋼系管路外観調査(SP)	変状なし	腐食代2mm以内	腐食代2mm超	貫通孔あり	－
		PC管外観調査(中性化残り)	中性化残り10mm以上		中性化残り又はカバークート厚10mm未満	PC鋼線腐食・破断	
※2管内面調査や事前調査結果から、詳細調査を行うか判断する。 (評価の流れにおける、主要因別評価及び施設状態評価の判定の考え方)							

参考情報

調査項目				備考	
漏水事故の状況 (同一路線で過去に起きた事故件数)				同一路線4.3kmにおいて2008年に継手から漏水事故あり	
現地踏査	周返地盤の沈下等(全管種)			無	有
	上部及び周辺の土地利用(全管種)			変化なし	荷重増
事前調査	腐食環境調査※	土質調査(PC,SP,DCIP)		腐食土壌でない	腐食性土壌
		周辺調査(SP,DCIP)		迷走電流の可能性なし	迷走電流の可能性あり
	問診調査	供用年数		22年(1994～2016年)	
		バルブの使用頻度と位置(FRPM,PVC)		近くにあるバルブはほとんど使用しない	近くに頻繁に使用するバルブがある
※3腐食性土壌の懸念がある場合は、必要に応じて土壌調査を行い、試掘調査を行うか判断する。					

注1) 変状別評価から主要因別評価を行う場合は、最も健全度が低い評価を代表値とする。総合評価については、今後の性能低下により影響されと思われる支配的要因を検討し、その評価区分を採用する。また、参考情報をについても加味し考えることができる。
注2) S-1の評価は、この評価表に依らず評価者が技術的観点から個別に判定する。

以下に「パイプラインの施設状態評価表」の記入に当たっての注意事項を示す。

健全度ランク		S-5	S-4	S-3	S-2
漏水	漏水の進行(全管種)※1	無	—	有	—

- ① 漏水については施工時（初期値）と比較して漏水量が増えている場合“有”とする。ただし、施工時（初期値）がない場合は、許容減水量（土地改良事業計画設計基準・設計「パイプライン」を参照）を超える場合を“有”と判断する。

健全度ランク		S-5	S-4	S-3	S-2
詳細調査※2	試掘調査	鉄鋼系管路外観調査(SP)	変状なし	腐食代2mm以内	腐食代2mm超
		PC管外観調査(中性化残り)	中性化残り10mm以上	中性化残り又はカパーコート厚10mm未満	PC鋼線腐食・破断

- ② 管内面調査や事前調査結果から、詳細調査を行うか判断する。

- ③ 変状別評価から主要因別評価を行う場合は、最も健全度が低い評価を代表値とする。総合評価については、今後の性能低下により影響されと思われる支配的要因を検討し、その評価区分を採用する。また、参考情報についても加味し考えることができる。

総合評価

参考情報

参考情報を加味

調査項目					
漏水事故の状況 (同一路線で過去に起きた事故件数)					
現地踏査		周辺地盤の沈下等(全管種)	無	有	
		上部及び周辺の土地利用(全管種)	変化なし	荷重増	
事前調査	※ 腐食環境調査	土質調査(PC,SP,DCIP)	腐食土壌でない	腐食性土壌	
		周辺調査(SP,DCIP)	迷走電流の可能性なし	迷走電流の可能性あり	
	問診調査	供用年数			
		バルブの使用頻度と位置(FRPM,PVC)	近くにあるバルブはほとんど使用しない	近くに頻繁に使用するバルブがある	

表-3.2.3 機能診断調査結果に基づく施設状態評価表（ポンプ設備）記載例

装置・設備状態評価表（総括表）

地 区 名					T湖地区					評 価 者 氏 名		山田 太郎	
施 設 名					T湖干拓排水機場					評 価 年 月 日		平成28年11月17日	
用 途					主ポンプ					仕 様		立軸軸流ポンプ(型式:1200VSGE) 口径:φ1200mm 吐出量:210m ³ /min 全揚程:4.0m 回転数:280rpm ディーゼル機関(型式:6RL-HT) 出力:300PS 直交軸傘歯車減速機(型式:SBN051V) 伝達動力:290PS 電動バタフライ弁(型式BVTM-1200) 口径:φ1200mm 電動機出力:1.5kw	
設 備 の 重 要 度					A								
診断調査様式	装置区分	形式	部位	部位の重要度	健全度評価(部位)			主な劣化部位と要因	健全度評価(装置)	健全度評価(設備)			
					概略診断	詳細診断							
立軸軸流 (又は斜流) ポンプ	主ポンプ	立軸軸流 (又は斜流) ポンプ	本体	A	S-4			(ポンプ締切運転は軸流ポンプのため不可) (未:軸継手部はリジット結合のため、芯ぶれ測定は不要) ・グラッド部のドレン受け部の濡れ(S-3) 部位の重要度Bである軸封部のみ健全度S-3であり、重要度Aの部位の健全度はS-4であるため、装置の健全度はS-4と評価した。	S-4				
			ケーシング部	A	S-4								
			インペラ・主軸部	A	S-4								
			軸受部(外軸受)	A	S-4								
			水中軸受部	A									
			軸封部	B	S-3								
			中間軸継手部	A									
			軸継手部	A	S-4								
ディーゼル機関	原動機	ディーゼル機関	機器本体	A	S-4			(未:噴射ノズルはノズルテスターが未設置のため調査不可) ・排気管、消音器に発錆を確認(S-3) ・燃料噴射ポンプの潤滑油に燃料混入を確認(S-3) ・空気槽安全弁の作動不良を確認:補機設備(空気系統)で評価 燃料噴射ポンプの潤滑油には燃料が混入するため、適宜取替が必要である。	S-3	S-2			
			燃焼室部	A									
			運動部	A									
			軸受部	A									
			過給器部	A									
			調速装置部	A									
			排気系統	A	S-3								
			燃料系統	A	S-3								
			冷却水系統	A	S-4								
			機関始動装置	A									
			空気系統	A	S-4								
			潤滑油系統	A	S-4								
			計器類	B	S-4								
交平軸 機 歯車減速直	動力伝達装置	交平軸 機 歯車減速直	本体	A	S-3			・潤滑油のみにみを確認(S-3) ・塗装劣化、発錆を確認(S-3) ・振動の基準値超過(測定値88μm、基準値80μm以下)を確認(S-2) ・潤滑油油面ゲージの汚損を確認 振動基準値超過は減速機の劣化や吐出弁開度が60%であること等が原因と考えられる。	S-2				
			ケーシング部	A	S-2								
			歯車部	A	S-4								
			軸受部	A	S-4								
電動バタフライ弁	弁類	電動バタフライ弁	本体	A	S-3			・油脂の劣化、油脂にじみを確認(S-3) ・弁箱の塗膜劣化、発錆を確認(S-3) ・吐出弁開度は5-60%で設定されている(開度調整可能)	S-3				
			中間軸(多床式)	A	-								
			弁箱	A	S-3								
			弁体	A									
			弁軸(弁棒)	A									
			弁箱弁座(ゴム弁座の場合)	A									
			弁箱弁座(SUS弁座の場合)	A									
			一次減速機用歯車	A									
			一次減速機及び弁軸軸受	A	S-4								
			バルブコントローラ	A	S-4								
グラッド部	B	S-4											
【特記事項】 減速機の振動基準値超過は至急劣化対策が必要である。よって、設備の健全度評価はS-2と判断する。													

以下に施設機械設備の代表例として「ポンプ設備の施設状態評価表」の記入に当たっての注意事項を示す。

- ① 施設機械設備における健全度評価は、部位毎に評価した健全度から装置の健全度を評価し、更に装置の健全度から設備の健全度を評価する。

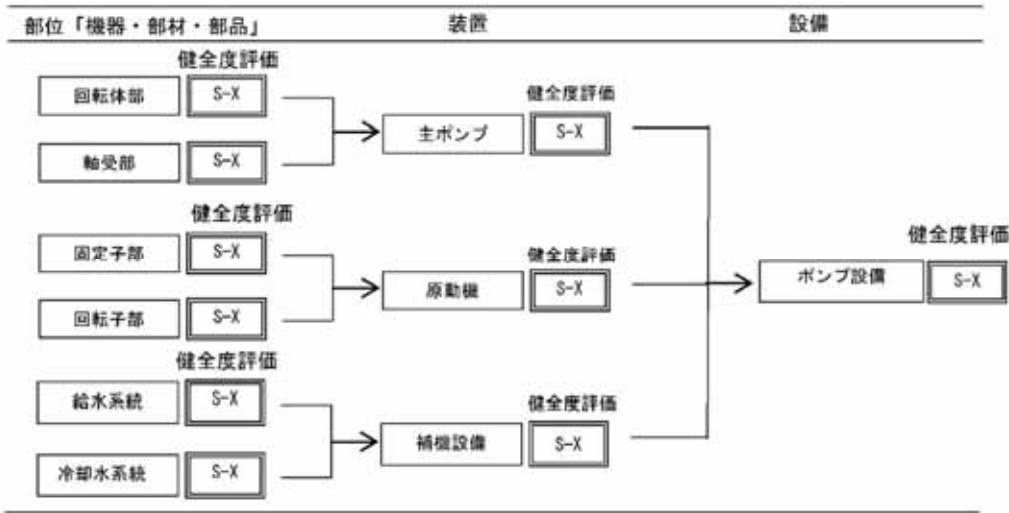


図-3.2.1 ポンプ設備の健全度評価の考え方の例

出典：農業水利施設の機能保全の手引き「ポンプ場（ポンプ設備）」（平成 27 年 2 月正誤表対応版），P. 58

- ② 部位の健全度ランクは、調査項目の健全度ランクのうち、最も厳しい健全度ランクを代表とし、劣化の影響度や S-3、S-2 の評価数、エンジニアリングジャッジなどを含め評価する。
- ③ 装置の健全度ランクは、部位の健全度ランクのうち、最も厳しい健全度ランクを代表とし、部位の重要度や S-3、S-2 の評価数、エンジニアリングジャッジなどを含め評価する。
- ④ 設備全体の健全度ランクは、装置区分の健全度ランクのうち、最も厳しい評価を採用する。

概略診断調査表・健全度評価表

装置区分	形式	調査部位	部位重要度	詳細部位	参考耐用年数	納入後又は交換後の経過年数	調査項目	劣化影響度	調査方法	許容値又は判定基準	点検条件 注1	調査結果		No.調査項目2
												健全度項目別	健全度部位別	
主ポンプ	立軸軸流（又は斜流）ポンプ	ケーシング部	A	ケーシング（吐出口等）	30	41	ひび割れ 亀裂	A	目視	ひび割れ、亀裂の程度（長さ・深さ）	運・停	S-4		0
							腐食・摩耗	A	目視	腐食の程度（面積、深さ）	運・停	S-4		11
				ケーシング（吐出口等）の塗装	10	41	塗装	C	目視	塗装剥離、発錆の程度（面積、深さ）	運・停	S-3		17
				ケーシング（吐出口等）合わせ面	30	41	水漏れ	A	目視	水漏れがないこと	運・停	S-4		8

部位別健全度評価を記載

②

装置・設備状態評価表（総括表）

診断調査様式	装置区分	形式	部位	健全度評価(部位)				主な劣化部位と要因	健全度評価(装置)	健全度評価(設備)	
				部位の重要度	概略診断		詳細診断				
							簡易内部				分解整備時
立軸軸流(又は斜流)ポンプ	主ポンプ	立軸軸流(又は斜流)ポンプ	本体	A	S-4			(ポンプ連続運転は軸流ポンプのため不可) (未: 軸継手部はリジット結合のため、芯ぶれ測定は不要) ・グランド部のドレン受け部の濡れ(S-3) 部位の重要度Bである軸封部のみ健全度S-3であり、重要度Aの部位の健全度はS-4であるため、装置の健全度はS-4と評価した。	S-4		
			ケーシング部	A	S-4						
			インペラ・主軸部	A	S-4						
			軸受部(外軸受)	A	S-4						
			水中軸受部	A							
			軸封部	B	S-3						
			中間軸継手部	A							
			軸継手部	A	S-4						
		ベース部	A	S-4							
ディーゼル機関	原動機	ディーゼル機関		③				S-3	S-2		
歯車交軸減速機	動力伝達装置	歯車減速機						S-2			
バタフライ弁	弁類	電動バタフライ弁						S-3			

④

3.3 機能診断評価の基準

劣化予測や対策工法の検討を行うため、機能診断調査の結果、明らかとなった「施設状態」に基づき、対象施設の変状がどの程度のレベルにあるかを総合的に把握し、対象施設の健全度評価を行う。

【解説】

機能診断評価は、以下に示す「施設の健全度」のランクを決定し、対策の実施方針を検討する目的で実施する。

表-3.3.1 健全度指標（土木施設・施設機械設備）の例

健全度 (ランク)	施設の状態		対応する 対策の目安
	土木施設	施設機械設備 (設備・装置・部位等)	
S-5	変状がほとんど認められない状態	異常が認められない状態	対策不要 (対策不要)
S-4	軽微な変状が認められる状態	軽微な変状がみられるが、機能上の支障はない状態	要観察 (継続監視)
S-3	変状が顕著に認められる状態	放置しておくとも機能に支障がでる状態で、対策が必要な状態	補修・補強 (劣化対策)
S-2	施設の構造的安定性に影響を及ぼす変状が認められる状態	機能に支障がある状態。著しい性能低下により、至急対策が必要な状態	補強・補修 (至急劣化対策)
S-1	施設の構造的安定性に重大な影響を及ぼす変状が複数認められる状態。近い将来に施設機能が失われる、または著しく低下するリスクが高い状態。補強では経済的な対応が困難で、施設の更新が必要な状態	設備等の信頼性が著しく低下しており、補修では経済的な対応が困難な状態。近い将来に設備の機能が失われるリスクが高い状態。本来的機能及び社会的機能における性能が総合的に著しく低下している状態	更新 (更新)

(注1) 対応する対策の目安：上段は土木施設の対策、(下段)は施設機械の対策例を示す。

(注2) 手引き(工種別編)の「水管理制御設備」では、対応する対策の目安として、S-2で更新(全体・部分)、S-1で至急更新(全体・部分)となっている。

(注3) 同欄の記載内容は目安として示したものであり、対策の必要性の有無は、水理性能に与える影響、重要度、リスク、劣化要因、劣化の進行状況などに応じて検討する。

3.4 管理水準の設定

機能保全計画の検討に先立ち、施設管理者や関係機関の意向を踏まえた上で、リスク管理の視点も考慮して施設ごとの重要度評価等に応じた管理水準を設定する。

【解説】

健全度指標による管理水準を設定する場合、一般的にはS-1 に設定することが多いと考えられるが、施設の重要度評価等を踏まえた潜在的リスクの大きさを考慮して、管理水準をそれよりも上げる対応が考えられる。

- ・開水路においては、高位部・盛土部に設置されており、下流に住宅・公共施設等が存在する場合や斜面崩壊により水路の崩落や溢水が懸念される場合、水路橋、サイホン区間等で応急復旧に時間と費用を要する場合、上水道・工業用水道などとの共同区間である場合等に管理水準を上げる対応が考えられる。
- ・水路トンネルにおいては、水路トンネルの上部に重要な道路や住宅が存在する場合、復旧に際し用水の仮回しが必要な場合、坑口から変状箇所までの距離が遠く大掛かりな仮設工事と特殊な工法を採用する必要が想定される場合、上水道・工業用水道などとの共同区間である場合等に管理水準を上げる対応が考えられる。一般的に水路トンネルでは、上部の土地利用条件による制約や代替ルート確保が困難なこと等から管理水準をS-2以上で設定する事例が多い。
- ・頭首工においては、被災により治水上重大な影響を及ぼす場合や上部工を一般道路として供用している場合、被災した施設の機能復旧まで多大に時間を要する場合等に管理水準を上げる対応が考えられる。

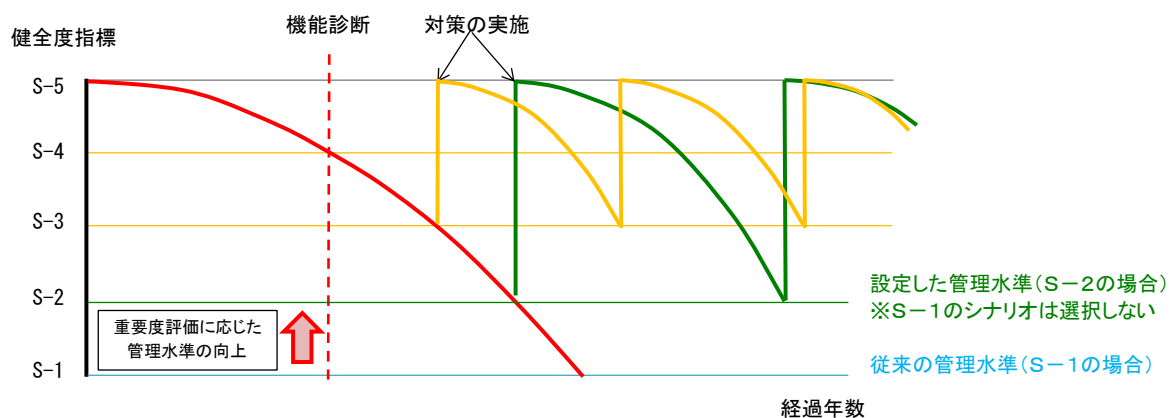


図-3.4.1 健全度による管理水準の設定を行う場合の例

パイプラインは、管種や管径、埋設条件等が千差万別であり、事故発生の予兆や事故発生時期を予測することは現在の技術では難しい。このため、現状では、鉄鋼系管路の管厚（腐食による減肉量）などの限定的な性能指標により管理水準を設定している。

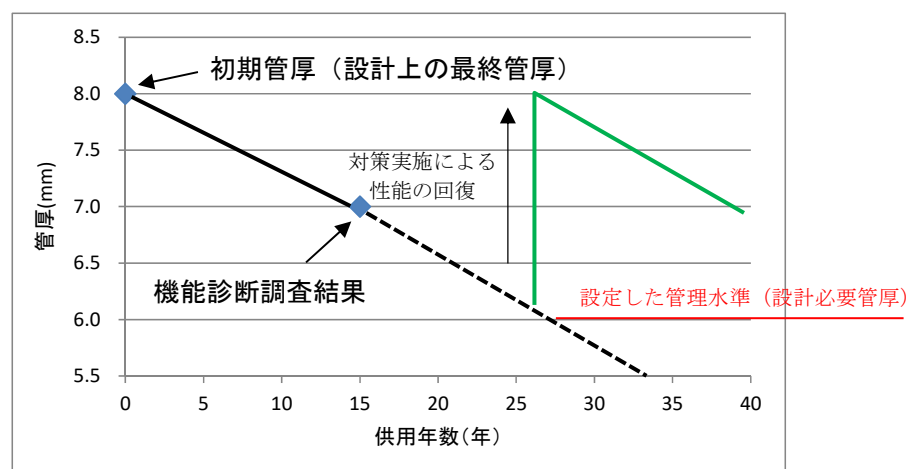


図-3.4.2 鉄鋼系管路の管厚による管理水準の設定を行う場合の例

[前提条件：φ600の鋼管で最終管厚8.0mm（必要管厚が6.0mm＋腐食しろ2.0mm）]

リスクが大きい施設（重要度の高い施設）については、高い管理水準の設定により早めの予防保全対策を実施する一方で、重要度の低い施設については、対応コストも考慮し、予防保全ではなく、ある程度事後対応となってもやむを得ないと整理していくことが考えられる。

3.5 診断結果のグルーピング

対策の要否や対策工法の比較検討等を効率的に行うため、施設の種類、構造、主な変状要因及びその程度により同一の検討を行うことが可能な施設群に分類し、グルーピングを行う。また、施設の重要度により管理水準が異なる場合も、これを分けることが必要である。

【解説】

グルーピングは、技術的に適用可能な対策工法が同様の選択肢になることを念頭に置いて行う必要があり、変状要因やその後の劣化進行に影響すると思われる立地条件、健全度評価を十分踏まえて行う。

なお、グループを細分化すると精緻な検討が可能となる一方、劣化予測や対策工法の検討に要する時間や経費が増加してしまうことから、当該機能診断調査や機能保全計画に求められる精度に応じて、適切なグルーピングを設定することが重要である。グルーピングの分類の視点のうち、施設構造、健全度、変状要因の3つは必要最小限の要素となる。

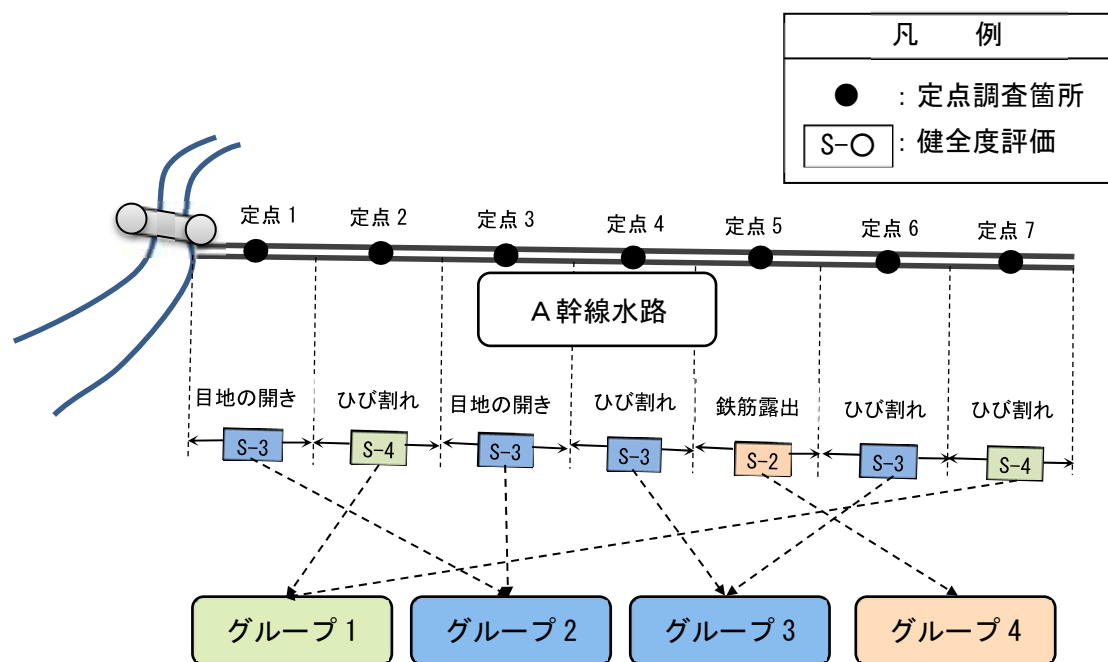


図-3.5.1 グルーピングの例

【参考】グルーピングの具体例

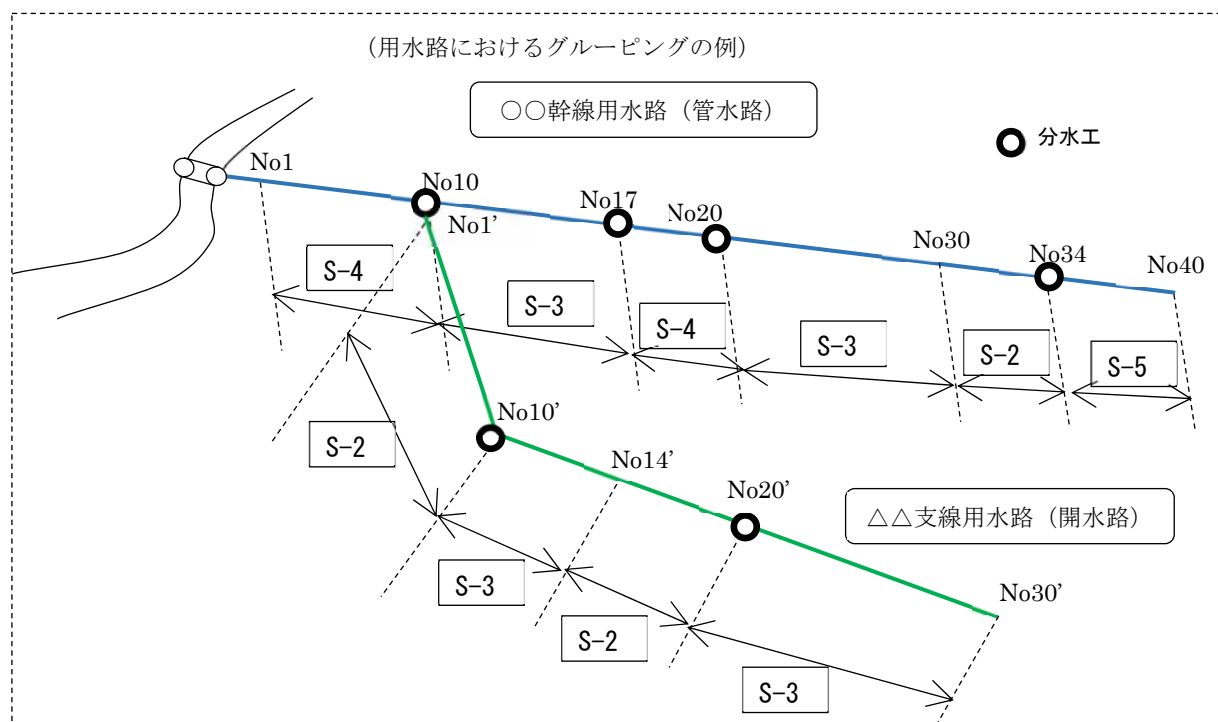


図-3.5.2 用水路におけるグルーピングの例

【機能診断調査結果】

対象施設（構造）	区間	健全度評価	延長（m）	グループ番号
〇〇幹線用水路	No 1 ～ 1 0	S-4	9 0	2
（ダクタイル管水路）	1 0 ～ 1 7	S-3	7 0	3
	1 7 ～ 2 0	S-4	3 0	2
	2 0 ～ 3 0	S-3	1 0 0	3
	3 0 ～ 3 4	S-2	4 0	4
	3 4 ～ 4 0	S-5	6 0	1
△△支線用水路	No 1' ～ 1 0'	S-2	9 0	2 0
（鉄筋コンクリート開水路）	1 0' ～ 1 4'	S-3	4 0	1 0
	1 4' ～ 2 0'	S-2	6 0	2 0
	2 0' ～ 3 0'	S-3	1 0 0	1 0

【機能診断調査結果を基にグルーピング】

グループ番号	健全度評価	延長(m)
〇〇幹線水路		
1	S-5	6 0
2	S-4	1 2 0
3	S-3	1 7 0
4	S-2	4 0

グループ番号	健全度評価	延長(m)
△△幹線水路		
1 0	S-3	1 4 0
2 0	S-2	1 5 0

4. 施設状態の将来予測

4.1 劣化予測の目的

劣化予測は、対象となる施設がいつ頃、どのような対策をとることが必要かを判断し、対策の組合せシナリオを想定するための根拠とする目的で実施する。

【解説】

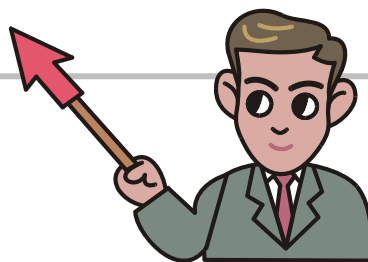
効率的な機能保全計画を策定するためには、「施設が今後、どのような状態になっていくのか？・いつまで機能を保持するか？」、「施設の保全対策をいつ、どの程度の規模で実施すべきか？」など将来予測を行う必要がある。

劣化予測は、施設の経時的な劣化を予測することでもあり、これらの進行は施設環境や劣化要因に大きく左右される。本来、施設環境や劣化要因別に劣化予測式を設定すべきであるが、依然としてこれに資する十分な機能診断データの蓄積が不足している現状である。

このため、劣化予測は、その要因が明らかであり、その予測手法が確立されている場合は、経験式などの手法を用いて行う。経験式などの手法が確立されていない場合や複合的な要因で特定の劣化要因が不明である場合は、標準的な劣化曲線を設定し、これを機能診断による実測で補正することにより行う。なお、機能診断を複数回行っている施設について、診断毎の状況変化から劣化の支配的要因を推定できる場合は、その要因の経過観察の結果から劣化予測を行う。

農業水利施設の劣化予測の構築に向けて

農業水利施設の中には標準的な耐用年数が経過しても、健全な機能を保持しているものもあれば、標準的な耐用年数に達しない時点で、使用限界まで性能が低下してしまう施設もあります。残念ながら、ストックマネジメントの実践とデータ蓄積が図られてきた現状においても劣化傾向の予測を高い精度で実施することはできません。引き続き機能診断調査を継続的に実施するなかで、より精度の高い予測手法が構築されるものと期待されます。



4.2 劣化予測手法の種類と適用性

農業水利施設の劣化予測手法については、複数の手法が提案されている。これらの手法は、予測の目的、機能診断調査・機能診断評価の精度、劣化要因の特定の可否に応じて適用する。

【解説】

劣化予測は、表-4.2.1 に示すとおり、個別劣化現象の進行過程に着目したモデル（個別劣化現象モデル）と施設の健全度の統計的推移に着目したモデル（統計モデル）に大きく区分される。

詳細な劣化予測には個別劣化現象モデルを用いる方が望ましいが、現状では全ての劣化に対し「個別の農業水利施設がどのような要因で劣化しているのか？」は明らかになっておらず、本モデルを適用するための十分なデータも得られていない。また、個別劣化現象モデルを適用するためには、対象施設についても、本資料に示す調査・評価に加え、より詳細な機能診断調査が必要となる場合もある。

このため、ストックマネジメントに用いる劣化予測モデルは、その要因が明らかであり、その予測手法が確立されている場合は、個別劣化現象モデルを用い、予測手法が確立されていない場合や複合的な要因で特定の劣化要因が不明である場合は、統計モデルを用いる。

多くの農業水利施設については、過去の劣化傾向を把握するためのデータが少ないため、将来予測については、機能診断調査結果等で得られた劣化傾向を活用して、統計モデルにより概略的に実施する。

なお、単一劣化曲線モデルは個別施設の対策実施時期の設定に適用しやすく、マルコフ連鎖モデルは施設群としての予想に適用しやすい。したがって、双方のモデルを併用することにより手法の弱点を相互に補完させることも視野に入れ、適用方法を検討することが望ましい。

表-4.2.1 予測手法の区分

モデルの形式	内容	適用条件	予測モデル例
統計モデル	構造物の劣化の遷移や損傷の発生傾向から発生確率を求め、構造物群としての予測を行う。	劣化現象毎の物理パラメータを必要としないが、定性的な評価に留まる。	単一劣化曲線モデル マルコフ連鎖モデル
			故障検出型モデル（信頼性解析モデル） 故障発生確率、故障影響解析
個別劣化現象モデル	劣化要因の浸透や鉄筋腐食の発生機構など物理現象を個別にモデル化し、組み合わせて個別構造物の予測を行う。	劣化現象毎の物理パラメータを必要とするが、定量的な評価が可能である。	コンクリート部材の劣化モデル 塩分拡散モデル・中性化予測モデル
			床版疲労モデル 理論劣化曲線など

単一劣化曲線モデルは、コンクリート部材・施設の「内部要因」による劣化の予測に適している。また、マルコフ連鎖モデルは施設群（部材群）の各健全度が占める割合の推移を推定するものであり、全体の対策量等を推定するのに適している。

4.3 単一劣化曲線モデル

単一劣化曲線モデルは、「下位の健全度への平均到達年」を統計的に求め、これらの到達年を通過する曲線を近似して、劣化曲線とするものである。対象施設の各健全度の到達年を予測できることから、対象施設毎の劣化予測に適する。

【解説】

単一劣化曲線モデルは、経年的に健全度が低下する傾向を劣化曲線により表現するモデルであり、直感的でわかりやすいモデルである。また、それぞれの健全度に到達する年次を予測することができるため、対策実施時期を設定しやすい利点がある。なお、健全度の評価については、施設全体でも、部材毎でも実施できる。また、本モデルは、二次曲線で単一劣化曲線モデル化するため、S-3 から急激に劣化進行が加速する劣化傾向を示し、定性的にはコンクリート構造物の劣化機構を表現しているとも考えられる。

しかし、実際の施設においては、健全度評価が同じであっても劣化状態には幅があることに加え、気象条件や使用条件などにより将来の劣化状態に差が生じるものであるため、他の手法の適用も含め現場条件にあった手法を検討する。また、農業水利施設の劣化傾向は大きなバラツキを有すものであるため、広範囲の施設群の将来予測においては、実際と乖離する可能性があることに留意する必要がある。

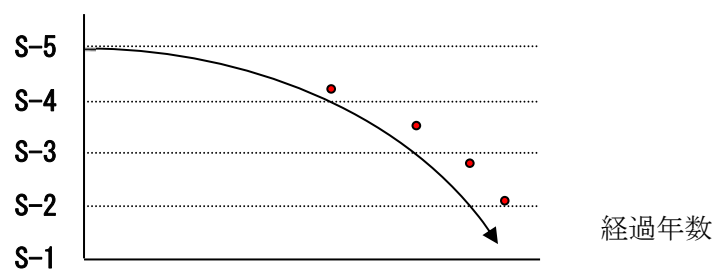


図-4.3.1 単一劣化曲線のイメージ

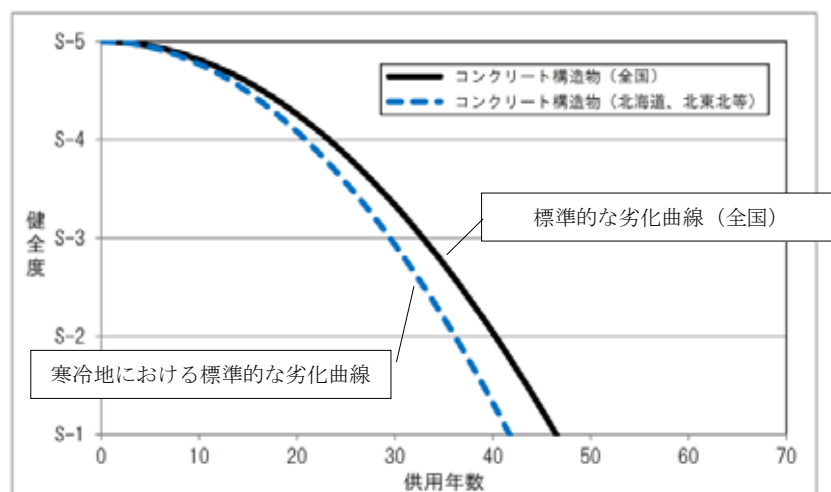


図-4.3.2 機能診断調査データによるコンクリート構造物の標準的な劣化曲線
(平成 21～25 年度の機能診断調査データより作成)

※寒冷地：道庁所在地の1月平均気温が0℃を下回る道県（北海道、青森県、秋田県、岩手県、山形県、長野県）

4.3.1 単一劣化曲線モデルの適用方法

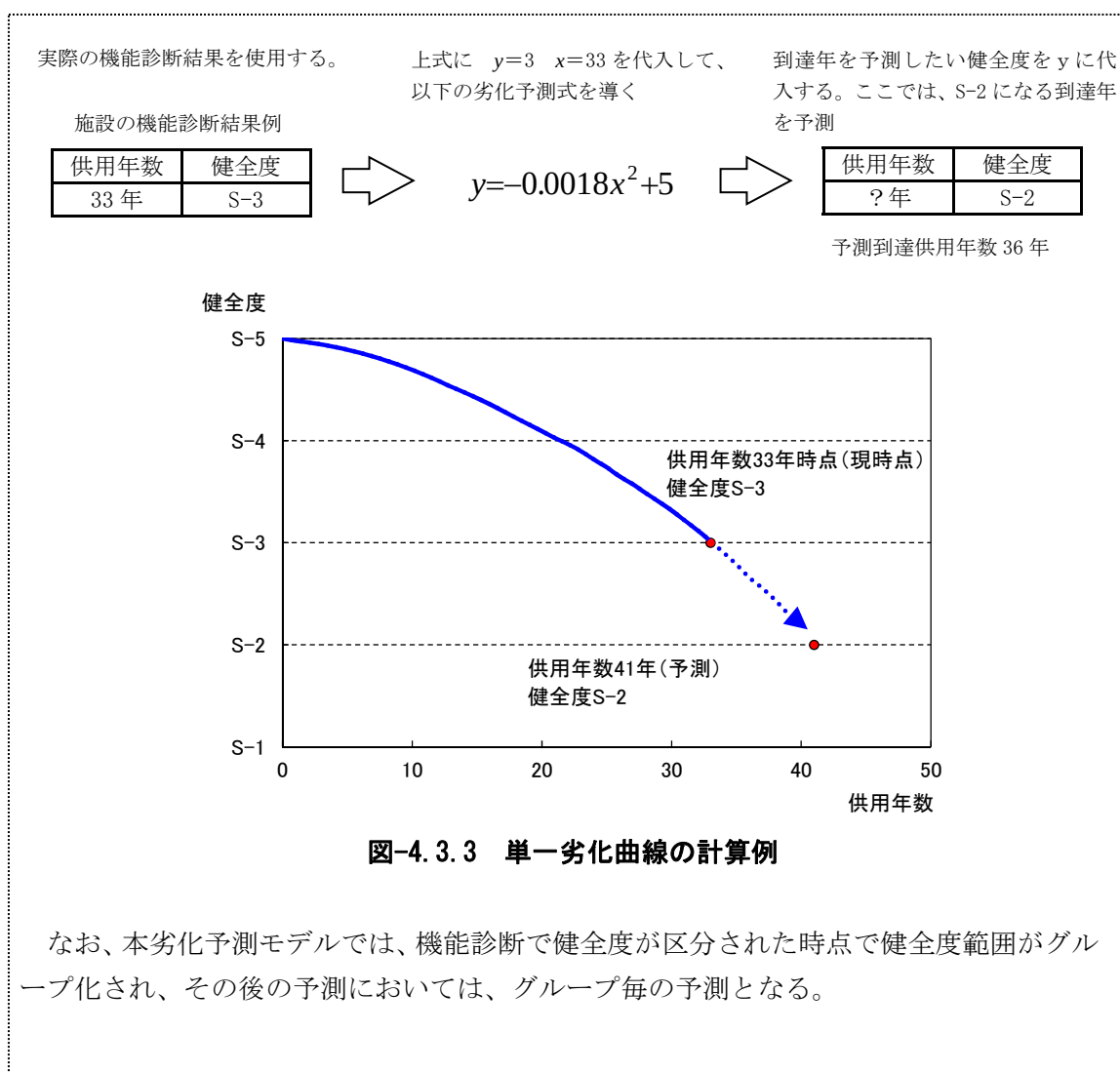
単一劣化曲線モデルは、機能診断評価結果に基づき実施する。なお、単一劣化曲線モデルの適用においては、対象施設は、新設時点では健全（S-5）であったと仮定し、以下の式で劣化傾向を近似する。

$$y = ax^2 + 5$$

y ：施設健全度 x ：施設供用年数

上式に示すとおり、使用するデータは、施設健全度（S-1～5）と機能診断調査実施時点での供用年数の2つのみである。

以下に、具体のデータの評価例を示す。



4.3.2 複数回の機能診断データがあった場合の対応

複数回の機能診断データがあった場合については、次の方法が考えられる。

① 最新の健全度評価をもとに単一劣化曲線を作成

最新の機能診断結果を使用して、単一劣化曲線を作成する。

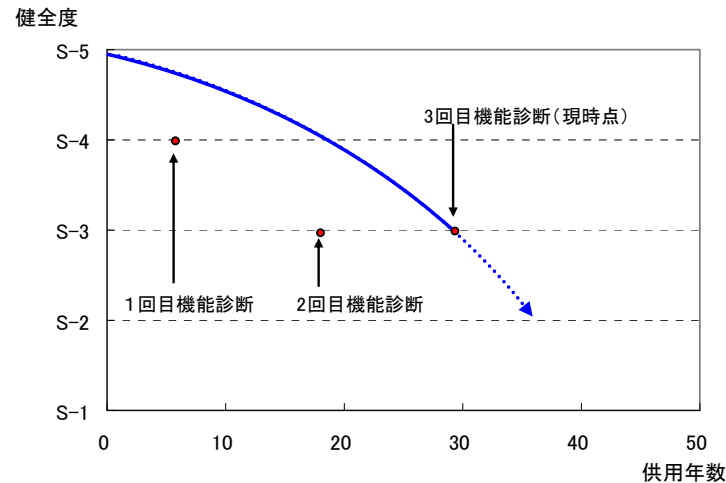


図-4.3.4 最新の健全度評価をもとに単一劣化曲線を作成した場合

② 複数回の健全度評価をもとに最小二乗法を用いて単一劣化曲線を作成

複数年の機能診断結果に基づいて劣化曲線を作成する。

$$y = ax^2 + 5$$

右のデータを用いて最小二乗法により、上式の係数 a を求める。

$$a = (\sum x^2 y - 5 \times \sum x^2) / \sum x^4$$

$$a = -0.00257$$

$$y = -0.00257x^2 + 5$$

供用年数(x)	健全度(y)
0年	S-5
16年	S-4
27年	S-3
35年	S-2

S-1 となる時点を予測する。

$$y = -0.00257x^2 + 5$$

上式より下式を導入

$$x = \sqrt{(y - 5) / (-0.00257)}$$

$$x = 39.45$$

上記より、S-1 となる時点は 39.45 年となる。

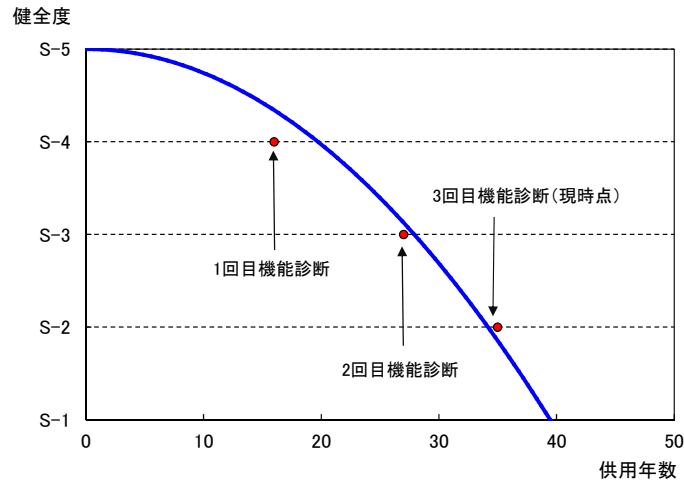


図-4.3.5 複数回の健全度評価をもとに最小二乗法を用いて単一劣化曲線を作成した場合

上記施設の現状を適切に機能診断した結果である最新の健全度結果を正として単一劣化曲線を作成する手法が適当と考えられる。

【参考】単一劣化曲線による劣化モデルの誤差

個別の調査から得られる健全度から劣化予測モデルを作成する場合、データサンプル数が少ないことに加えて、非線形データである健全度を用いることによるモデルの誤差が大きな問題となる。

ある供用年数を経た施設の健全度が「観測値」（図-4.3.6 参照）として得られたとすると、この施設の単一劣化曲線は標準劣化曲線A・d（全国平均）から大きく外れた曲線A・cを描く。

健全度は非線形なので、標準劣化曲線に対応する健全度データの経年変化は、A・B・C・D・E・F・G・Hの直線となる。したがって、例えば健全度 S-4 の場合、直線 C・D の間に在れば、当該地区の劣化曲線は標準劣化曲線に代表される。

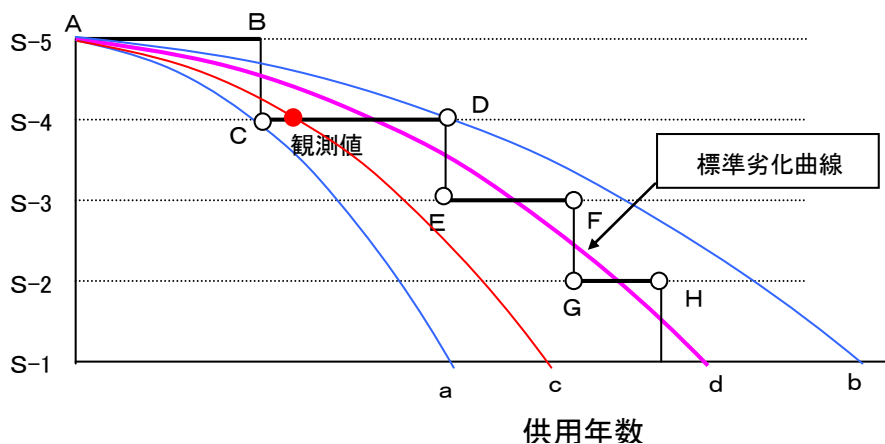


図-4.3.6 標準劣化曲線（単一劣化曲線）のイメージ

※観測値を優先した場合、標準劣化曲線の範囲内であっても、例えば S-4 の場合、A・C・a、A・D・b の曲線の範囲に無数に存在することになる。

4.4 その他の劣化予測モデル

個別劣化現象モデルは、劣化要因の特定が可能であり、これらの劣化現象について経年的な劣化傾向の予測が可能な場合に適用する。現時点では、塩害と中性化に限られるが、詳細な劣化予測が可能であり、また、適切な対策を検討することが可能である。

4.4.1 コンクリート部材の中性化進行予測（中性化予測式の概要とその活用方法）

中性化とは、大気中の二酸化炭素がコンクリート内に侵入し、コンクリートの pH が低下する現象であり、中性化が鉄筋近傍に達すると（酸素と水分の供給により）鉄筋が腐食し始める。

コンクリートの中性化深さは、以下の式のように、中性化期間（構造物の供用期間）の平方根に比例することが確認されている。

$$y=b\sqrt{t}$$

ここに、 y ：中性化深さ（mm）

t ：中性化期間（年）

b ：中性化速度係数（mm/√年）

実際の現場では中性化深さを測定し、中性化速度係数 b を測定結果から求めて、その後の中性化深さを予測する。

例えば、施工後 40 年経過した構造物の平均中性化深さが 20mm だった場合に、中性化速度係数を逆算すると以下のとおりである。

$$y/\sqrt{t}=b \quad 20/\sqrt{40}=3.16$$

ゆえに $b=3.16$

中性化速度係数 3.16 とした劣化曲線を図-4.4.1 に示す。

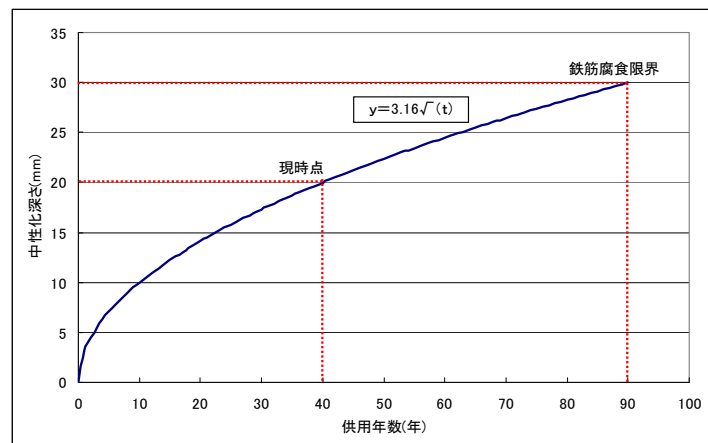


図-4.4.1 中性化進行予測例

ここに、コンクリート中に塩化物を含まない条件で鉄筋かぶりが 40mm と仮定した場合、鉄筋腐食が開始する深度は 40mm（鉄筋かぶり）－10mm（中性化残り）＝30mm となる。中性化深さが 30mm に達する供用年数は約 89 年であり、現時点から 49 年後と推定される。

4.4.2 コンクリート部材の塩分拡散予測（拡散方程式の概要とその活用方法）

塩化物イオンは、コンクリート内に侵入すると、塩化物イオン濃度が高い方から低い方へ移動する（塩化物イオンが拡散する）。コンクリート中の鉄筋位置に一定の塩化物イオンが蓄積されると鉄筋が腐食する（塩害が発生する）。塩化物イオンの拡散の予測には、フィックの第2法則と呼ばれるスパン拡散方程式を用いる。

本拡散方程式を用いると、コンクリート中の塩化物イオンの拡散係数（塩化物イオンの拡散のし易さ） D と部材表面塩化物イオン濃度 C_0 が明らかであれば、部材のある深さにおける将来の塩化物イオン濃度が予測できる。

$$C(x,t) = C_0 \left(1 - \operatorname{erf} \frac{x}{2\sqrt{Dt}} \right) + C_i$$

ここに、 $C(x,t)$ ：深さ x (cm)、時刻 t (年) における塩化物イオン濃度 (kg/m³)

C_i ：初期混入塩化物イオン濃度 (kg/m³)

C_0 ：表面における塩化物イオン濃度 (kg/m³)

D ：塩化物イオンの見掛けの拡散係数 (cm²/年)

erf^* ：誤差関数

実際の調査結果を用いる場合、現時点のコンクリート中の塩化物イオン濃度を計測し、部材表面における上記のパラメータ（初期混入塩化物イオン濃度、部材表面における塩化物イオン濃度、塩化物イオンの見掛けの拡散係数）を逆算し、経年的な塩化物イオンの浸透量を予測することになる。ただし、細骨材に海砂を用いてなければ、初期混入塩化物イオン濃度はゼロとみなしてよいため、逆算するのは部材表面における塩化物イオン濃度、塩化物イオンの見掛けの拡散係数の2つとなる。例えば、海砂を用いていない農業水利施設について、現地調査により、塩化物イオン濃度について以下の結果を得たと仮定する。

表-4.4.1 現地における塩化物イオン計測例

試料 採取深度	基準深度	平均塩化物 イオン量 (全塩分)	完成～現在 までの時間	鉄筋かぶり
0-30mm	15mm	1.28 kg/m ³	40 年	50mm
30-70mm	50mm	0.71 kg/m ³		

*誤差関数：ガウス分布（*Gaussian distribution*）あるいは正規分布（*Normal distribution*）とも呼ばれ、次の式で表される。ただし、 σ は標準偏差である。

$$y = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}}$$

このときの塩化物イオン濃度の分布は図-4.4.2 のように表現される。また、このグラフに近似するように前述のフィックの拡散方程式の係数を求めると図-4.4.3 及び表-4.4.2 のとおりとなる。

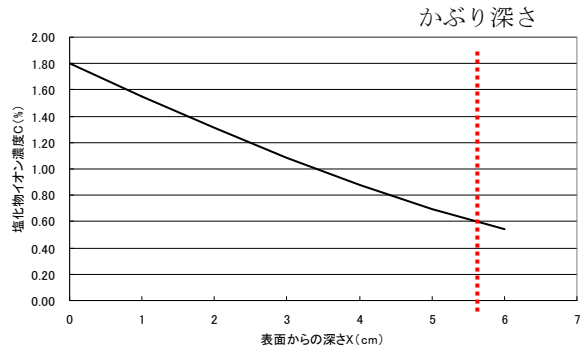
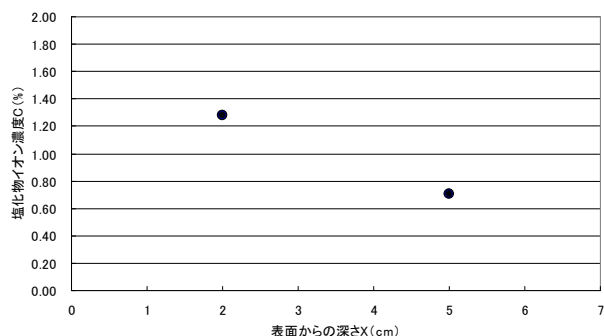


図-4.4.2 現地における塩化物イオン計測例 図-4.4.3 フィックの拡散方程式による近似

表-4.4.2 塩化物イオン浸透予測に用いた物理パラメータ

初期混入塩化物イオン濃度 C_i (kg/m³)	表面塩化物イオン濃度 C_0 (kg/m³)	塩化物イオンの拡散係数 D_c	
		(cm²/sec)	(cm²/年)
0	1.80	1.3E-08	1.1E-03

本事例では、保全対策を実施する塩化物イオン濃度をかぶり深さ（50mm）で 1.20kg/cm² と設定し、保全対策を実施すべき時点を予測する。

ここで、前述の式の t （時刻）を任意に設定することでコンクリート中の塩化物イオン濃度の浸透を予測した結果を図-4.4.4 に示す。本事例では、約 100 年後に塩化物イオン濃度がかぶり深さ（50mm）において 1.20kg/cm² になっており、対策が必要となることが予測できる。

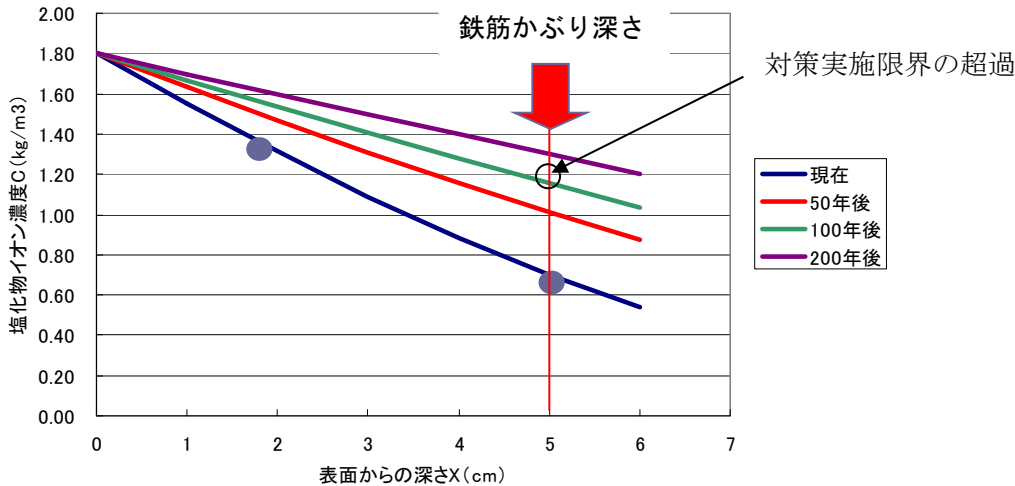


図-4.4.4 塩害の発生予測結果例

参考文献

- ・コンクリート標準示方書設計編 2012 年制定（土木学会） 2013 年, P. 148～157
- ・コンクリート診断技術' 15【基礎編】（日本コンクリート工学会） 2015 年, P. 222～229

4.4.3 梁部材等の疲労破壊予測（マイナー則の概要とその活用方法）

マイナー則とは、ある応力が N 回作用すると疲労破壊に至る場合、その応力を 1 回受けると $1/N$ だけ寿命が失われるとする法則である。

マイナー則を用いた疲労損傷度の評価は、実験結果等に基づき、ある作用応力において疲労限界に達する作用回数を設定し、これと現時点で発生している応力の作用回数の比を求めて評価する簡便な手法である。

実際の構造物に作用する応力は、大きいものから小さいものまで、多様である。このため、これらを等価に置換する必要がある、これには $S-N$ 相関が用いられる。

$S-N$ 相関とは、作用する応力振幅（ S ）と疲労破壊に至る繰返し回数（ N ）の相関性を実験的に求めたものである。以下に $S-N$ 相関の例を示す。

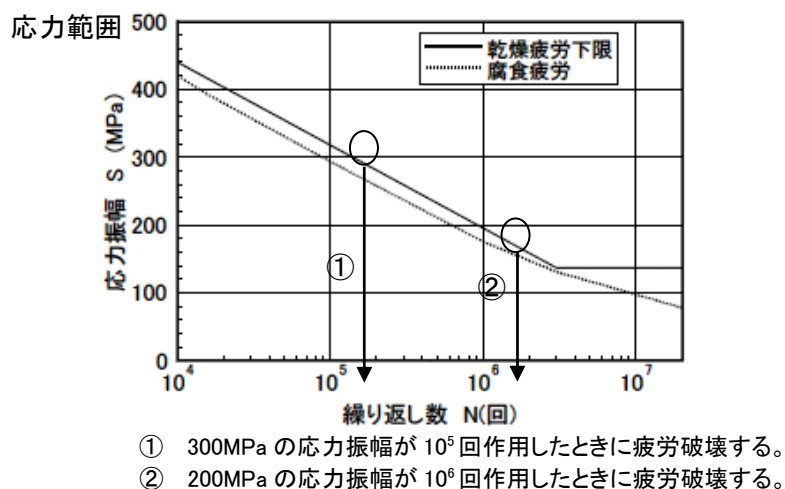


図-4.4.5 疲労限界に関する $S-N$ 曲線の例

実際の構造物の疲労破壊の評価には、疲労損傷度 D_i が用いられる。疲労損傷度 D_i は、ある応力の作用回数 n_i と、その応力が作用した時の疲労寿命回数 N_i との比の総和となる。

D_i が 1.0 になると疲労破壊するものと評価される。

$$D_i = \sum_{i=1}^m \frac{n_i}{N_i}$$

ここで、 D_i ：疲労度、 n_i ：荷重 i の繰返し数、 N_i ：荷重 i に対する疲労強度に達する繰返し数

構造物の疲労破壊の予測では、 D_i を累積疲労損傷度（ M ）と置き換えて、自動車の通行や波浪などにより、今後、実際の構造物に作用する繰返し応力（応力波と繰返し数の組合せ）を推定することで、経年的な劣化程度や残存耐用年数を推定する。

参考文献

- ・コンクリート標準示方書設計編 2012 年制定（土木学会） 2013 年, P. 212
- ・コンクリート診断技術 '15【基礎編】（日本コンクリート工学会） 2015 年, P. 244～249

4.5 パイプラインにおける性能低下予測（対策実施時期の設定）

パイプラインにおける性能低下予測（対策実施時期の設定）は、保全方式に応じた手法により定量的な個別の指標、供用年数等の要素を考慮し実施する。

【解説】

パイプラインの性能低下予測に当たっては、技術的に困難な場合が多いのが現状であるが、機能診断調査の結果、定量的かつ性能低下要因が明らかで、時間的な性能低下の進行が明確である指標を把握できる施設は、「状態監視保全」とし、支配的な要因を選定し、可能な限り定量的な予測モデルを作成する。

性能低下予測が困難で状態監視保全が対応できない施設は、「時間計画保全」とし、標準的な参考耐用年数、地区内又は標準的な過去の更新実施時期及び施設状態を考慮し、施設造成者と施設管理者等が協議の上、対策実施時期を設定する。

施設の機能に支障が生じた後に対策を講じる施設は、「通常事後保全」とし、性能低下予測や予定供用年数の設定のプロセスを経ることなく、施設造成者と施設管理者等が協議の上、対策実施時期を設定する。

状態監視保全における性能低下予測と時間計画保全における対策実施時期の設定手法を以下に示す。

4.5.1 状態監視保全における性能低下予測

鉄鋼系管路の管厚（腐食による減肉量）など、材料の劣化要因から部材の劣化特性が直接計測により把握可能な場合には、これらを用いて性能低下予測を行う。

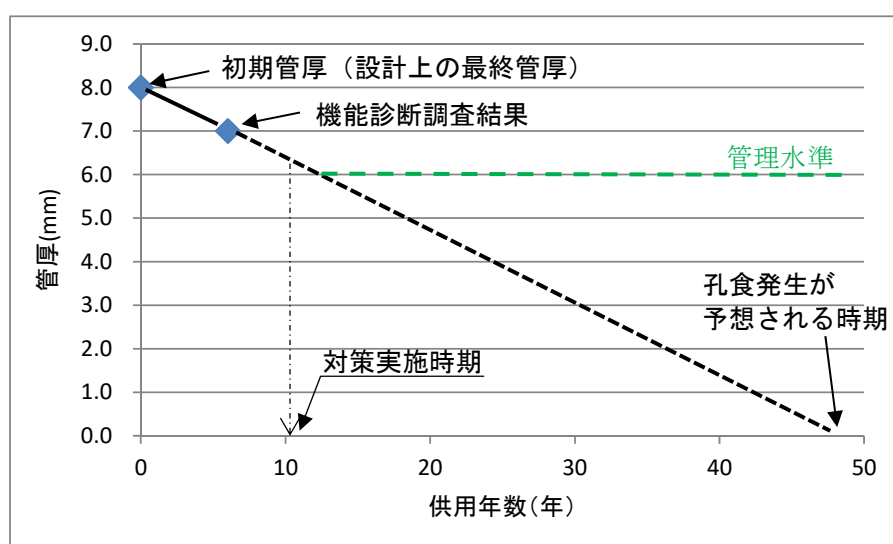


図-4.5.1 管厚を指標とした性能低下予測の例

[前提条件：φ600の鋼管で最終管厚8.0mm（必要管厚が6.0mm＋腐食しろ2.0mm）]

【参考】 部材の変位量を考慮して推計

パイプラインの性能評価方法は限定的であるため、各種報文等を参考に追加調査などを行い、可能な限り定量的な劣化予測を行う。

以下は、長期極限曲げ歪み試験を実施し、FRPM 管（FW 成形）の長期性能を評価した事例である。なお、FRPM 管（CC 成形）とは評価が異なることに留意する必要がある。

17 ケースの長期極限曲げ歪み試験結果から、ISO10928 規格に準拠して回帰直線を算出し、50 年後の長期極限曲げ歪みを算出している。供試管は呼び径 500、内圧 3 種管を用いている。

＜回帰分析から得られた結果＞

$$y = 0.19807 - 0.03910 \times x \cdot \cdot (1)$$

ここに、 y ：観察特性値の常用対数(log)

x ：破壊時間の常用対数(log)

(1) 式から、50 年(438,000 時間)後の長期極限曲げ歪み S_b は下記のように算出される。

$$S_b = 10^{-0.02251} = 0.9495 \% = 9,495 \mu$$

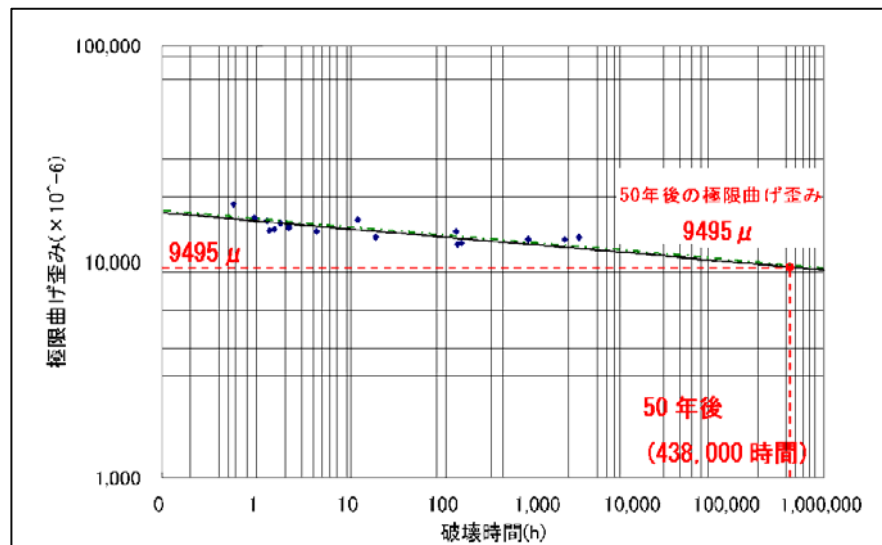


図-4.5.2 破壊時間と極限曲げ歪みの関係

FW 成形による FRPM 管では、外圧による破壊歪みを $14,900 \mu$ に設定している。内圧管の試験外圧値は破壊外圧値の 80%であり、使用時の限界である設計外圧値は試験外圧値から安全率 2 で除した値に設定している。

したがって、 $14,900 \mu \times 0.8 \div 2 = 5,960 \mu$ が使用時の限界歪みとなる。

そのため、今回の試験から算定された長期曲げ歪みの安全率は 1.59 となる。

出典：「長期極限曲げ歪み試験による FRPM 管の長期性能の評価」（大塚 聡，間宮 聡，毛利 栄征，有吉 充）H25 農業農村工学会大会講演会講演要旨集

4.5.2 時間計画保全における対策時期の設定

性能低下予測が困難な場合には、標準耐用年数等を参考にして対策時期を設定することを検討する。パイプラインの標準的な参考耐用年数は、費用対効果分析の諸係数より 20～40 年と示されており、ここでは中間値の 30 年を耐用年数とした場合の設定例を示す。なお、耐用年数は、同種管の近傍実績等から適宜設定する。

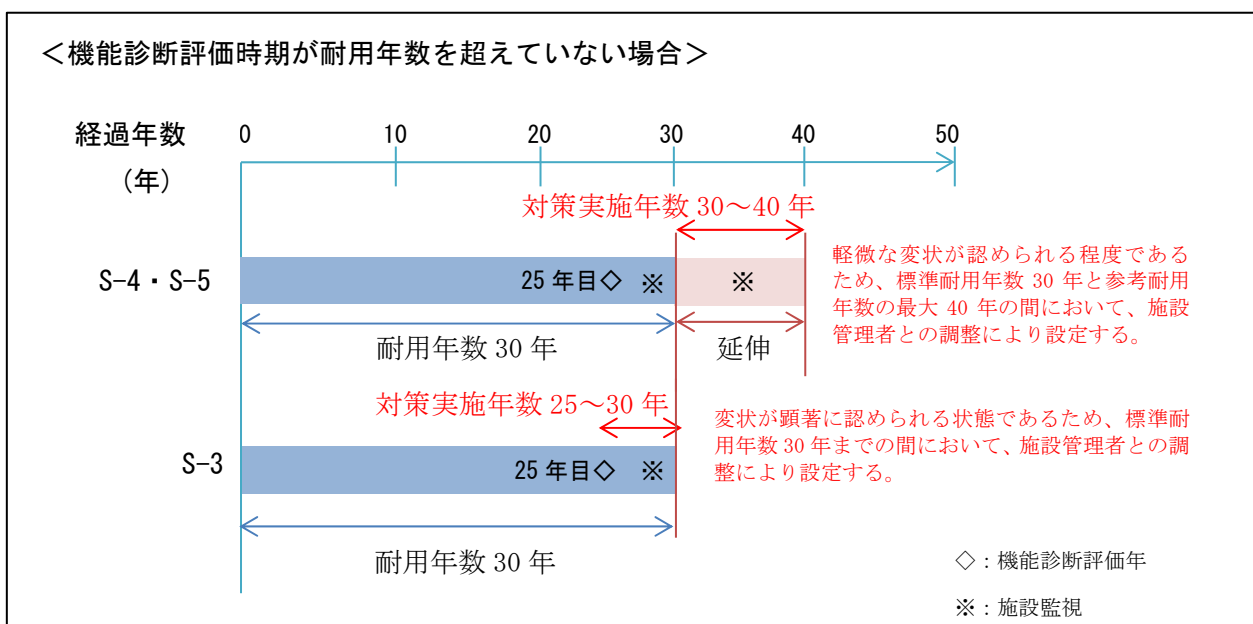


図-4.5.3 機能診断評価時期が耐用年数を超えていない場合の対策時期設定例

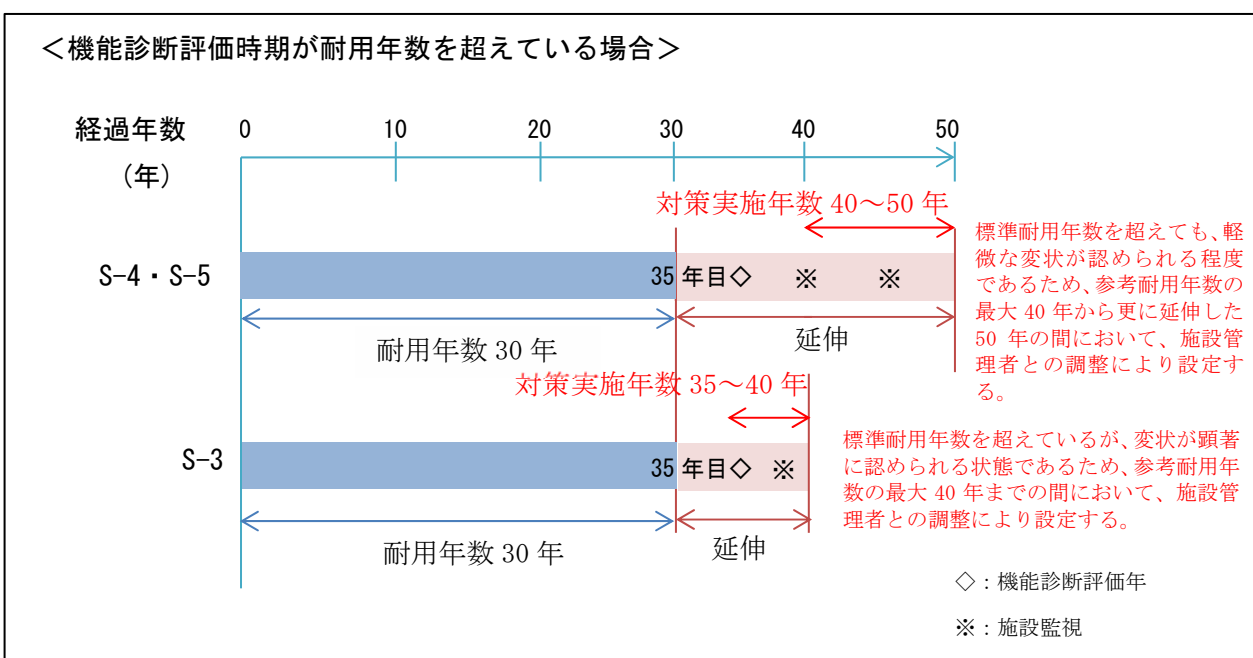


図-4.5.4 機能診断評価時期が耐用年数を超えている場合の対策時期設定例

【参考】マルコフ連鎖モデル

マルコフ連鎖モデルとは、過去の統計データに基づき、任意の健全度の施設の集団において1年間で健全度が1つ下がる施設の割合（遷移確率*）を求め、この割合を一定として、離散的に健全度分布の推移を予測するモデルである。

健全度分布の割合の変化を予測することができるため、土木施設の劣化のバラツキを表現できるほか、補修範囲の経年的な変化を予測できる。

ただし、任意の健全度に到達する年数を決定できないため、施設毎の予測には不向きであり、施設群としての評価に適する。

【解説】

マルコフ連鎖モデルは、初期の状態では全数が健全であったものが、時間の経過に従い、劣化したものが増えていき、最終的には全数が劣化したものに置き換わることを表現するモデルである。

水路などの線形構造物の健全度遷移のイメージを図-4.5.5に示す。

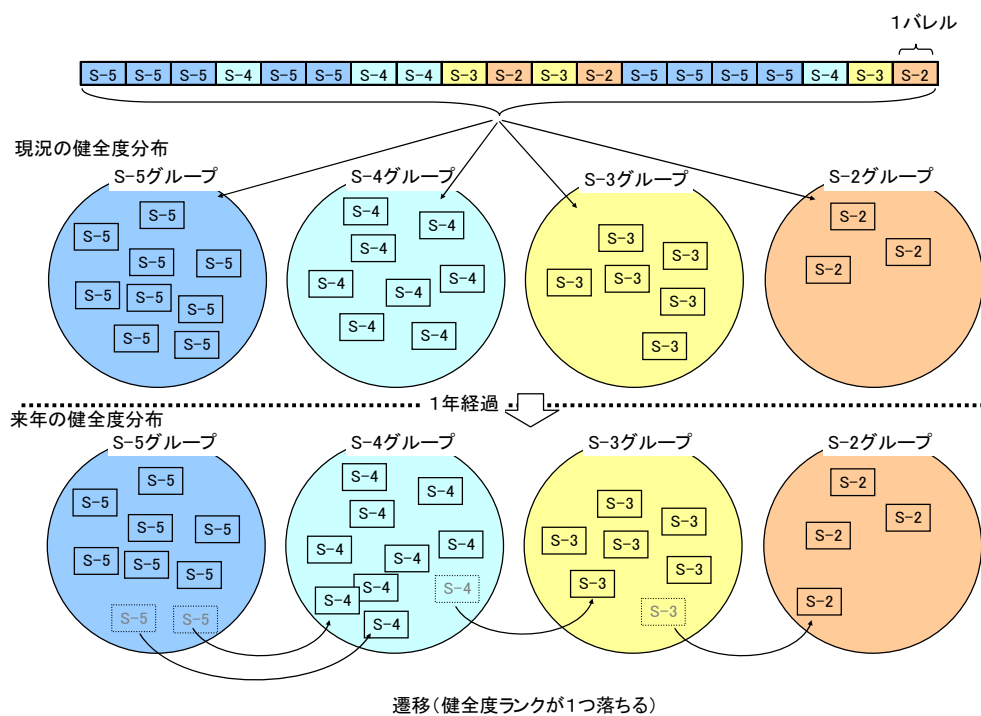


図-4.5.5 マルコフ連鎖モデルによる健全度分布の推移イメージ

図-4.5.5に示すとおり、水路のспан毎の現況の健全度が1年間経過後に健全度が1つ下がる割合（遷移確率）を求めて、これを繰り返すことで健全度の分布を予測することが可能である。

次頁にマルコフ連鎖モデルの検討手法を記載する。

* 遷移確率：あるカテゴリー（ランク）の施設群があったとき、一定期間のうちに他のカテゴリーに移行する割合

このマルコフ連鎖モデルは確率過程モデルの1つであり、産業構造の分析（職種別人口分布の経年変化の予測）などに用いられる手法である

当該モデルは、アメリカ合衆国で広く普及している橋梁マネジメントシステムであるPONTIS*にも用いられている劣化予測モデルであり、モデル構築上の以下の利点を有している。

- ① 当初は少ないデータでも予測を開始できる。
- ② データの蓄積に従い、予測精度の向上が図れる
- ③ 段階的に個別施設の劣化状況を予測に反映できる。

遷移確率の算定には、既往の健全度の推移傾向を調査した結果を用いることが一般的である。農業水利施設については、広域基盤整備計画調査のデータを活用することが可能である。

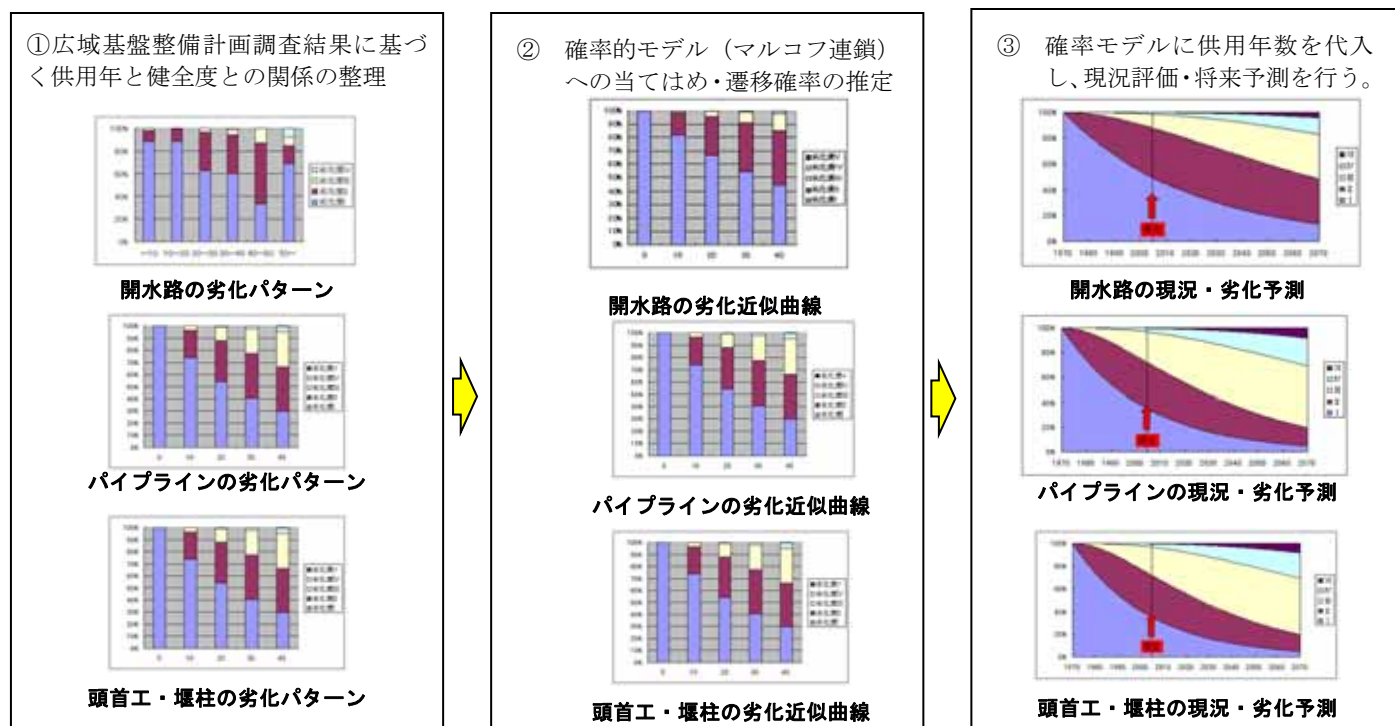


図-4.5.6 広域基盤整備計画調査データの適用

***PONTIS:** 日本より早く橋梁の老朽化問題が深刻化したアメリカでは橋梁維持管理問題に重点的に取り組んできた。そして橋梁維持管理のニーズ、維持管理資金調達、限定された資金源の中での最適計画といった橋梁マネジメントを支援するシステム分析ツールの開発が行われてきた。その代表的な分析ツールが *PONTIS*（ブリッジマネジメントシステム）である。

《 機能診断結果に基づく健全度予測・実際の作業手順 》

① 機能診断

診断マニュアル等に従い、調査単位（ユニット別）の健全度を診断する。

水路起点



例えば 2004 年に機能診断を実施

水路終点

② 診断結果の整理

幹線全体で診断結果を集計し、健全度がどの程度あるかを整理し、診断時点の健全度分布（各健全度が全体に占める割合）を計算する。

〇〇幹線水路診断結果（2004 年現在）

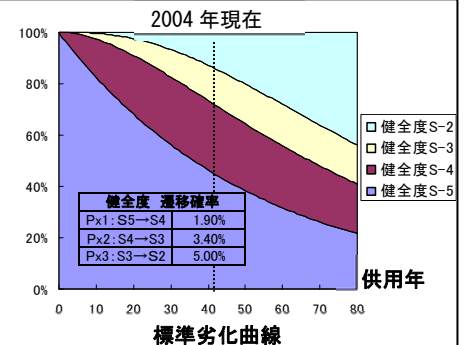
健全度	ユニット数	健全度分布
S-5	131	51%
S-4	93	36%
S-3	22	9%
S-2	10	4%

③ 標準劣化曲線データ

標準劣化曲線における健全度分布から診断時点（2004 年）における施設供用年を見つける。

ここだ！

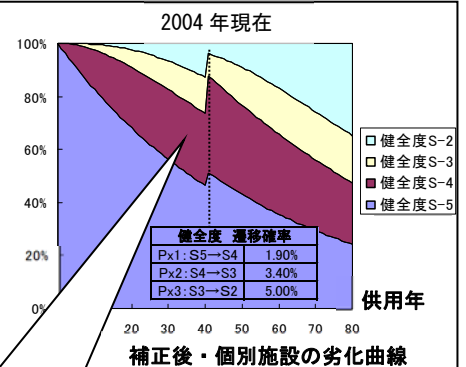
西暦	1963	1964	1965	1966	1967	1968	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
供用年数	0	1	2	3	4	5	38	39	40	41	42	43	44
健全度 S-5	100 %	98 %	96 %	94 %	93 %	91 %	48 %	47 %	46 %	46 %	45 %	44 %	43 %
健全度 S-4	0 %	2 %	4 %	5 %	7 %	9 %	7 %	27 %	27 %	27 %	27 %	27 %	27 %
健全度 S-3	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	3 %	14 %	14 %	14 %	1 %	14 %	15 %
健全度 S-2	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	1 %	12 %	13 %	13 %	4 %	15 %	16 %



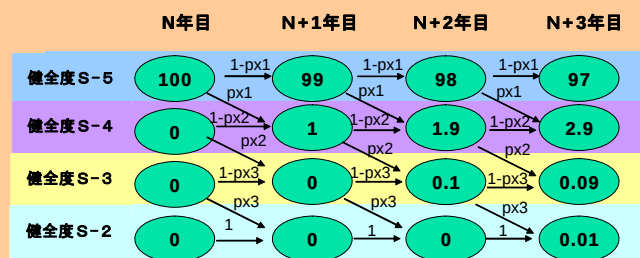
④ 機能診断結果に置換

標準劣化曲線における健全度分布を診断時点（2004 年）の実際の健全度分布に置き換える。

西暦	1963	1964	1965	1966	1967	1968	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
供用年数	0	1	2	3	4	5	38	39	40	41	42	43	44
健全度 S-5	100 %	98 %	96 %	94 %	93 %	91 %	48 %	47 %	46 %	51 %	50 %	49 %	48 %
健全度 S-4	0 %	2 %	4 %	5 %	7 %	9 %	7 %	27 %	27 %	36 %	36 %	36 %	36 %
健全度 S-3	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	3 %	14 %	14 %	9 %	9 %	10 %	11 %
健全度 S-2	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	1 %	12 %	13 %	4 %	4 %	5 %	5 %



自動再計算の方法



遷移確率 $Px1 \sim 3 : 1\%$ の場合

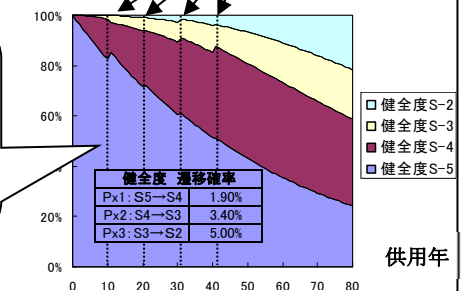
任意の健全度分布を持つ施設（水路）において 1 年間で健全度ランクが 1 つ上がるユニット（バレル）の割合（遷移確率）を設定し、この割合を一定として離散的に健全度分布の経年的な推移を自動計算します。

自動再計算

40 年間一度も機能診断していなかったため、実態と予測のズレが生じた。

定期的に機能診断を実施すれば、実態と予測とのズレは少なくなり、遷移確率の補正も可能になる。

機能診断の定期的な実施

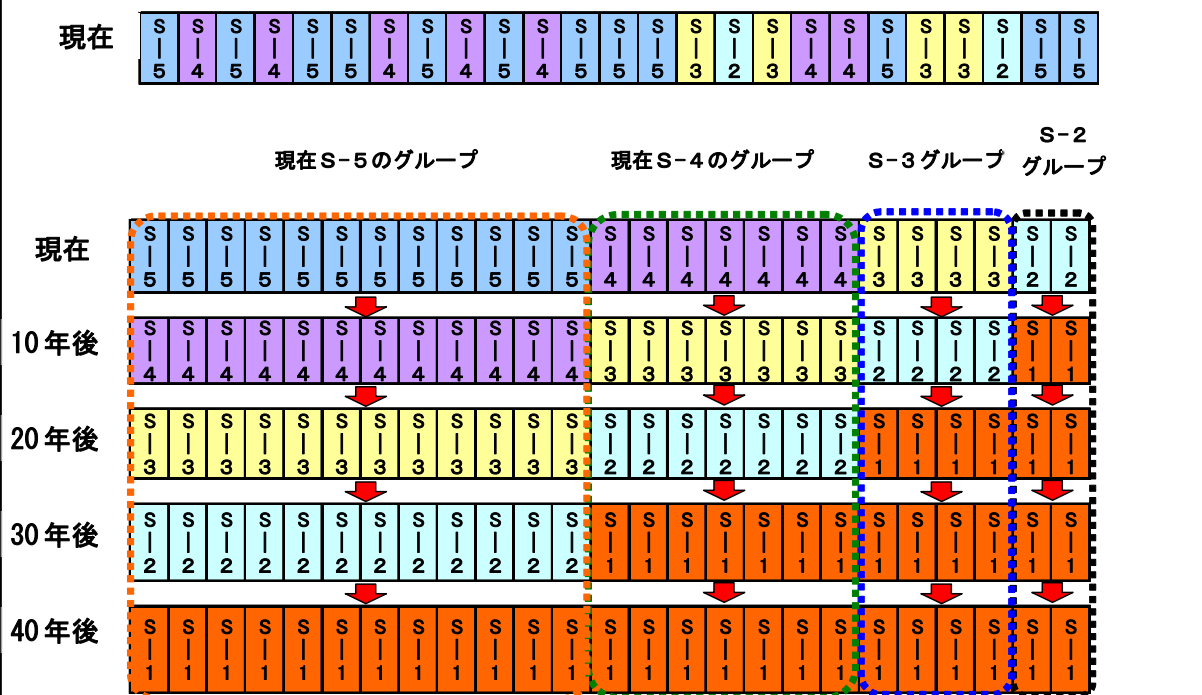


仮に 10 年毎に機能診断を実施した場合の劣化曲線

単一劣化曲線モデルとマルコフ連鎖モデルは、どちらも既往の劣化分布に基づいて今後の劣化予測を行う統計的なモデルです。2つのモデルは、同じ健全度のものを集めて（グルーピング）劣化予測を行う点で似ていますが、グループの予測の考え方に相違があります。

単一劣化曲線モデルでは、現在のグループは、グループ毎にまとまって同じ速度で劣化が進むと考えモデル化しています。

単一劣化曲線モデルでは、現在のグループは、グループ毎にまとまって同じ速度で劣化が進むと考えモデル化しています。



これに対して、マルコフ連鎖モデルではそれぞれのグループに含まれるバレルが増減する方式で劣化が進むと考え、モデル化しています。

