

LCC評価に基づく
**港湾構造物の劣化診断・
維持補修計画システム**

東洋建設（株） 美浦研究所
水谷 征治

夢から感動へーハートテクノロジー



説明内容

①システムの概要

②システムの特長

③劣化進行予測手法

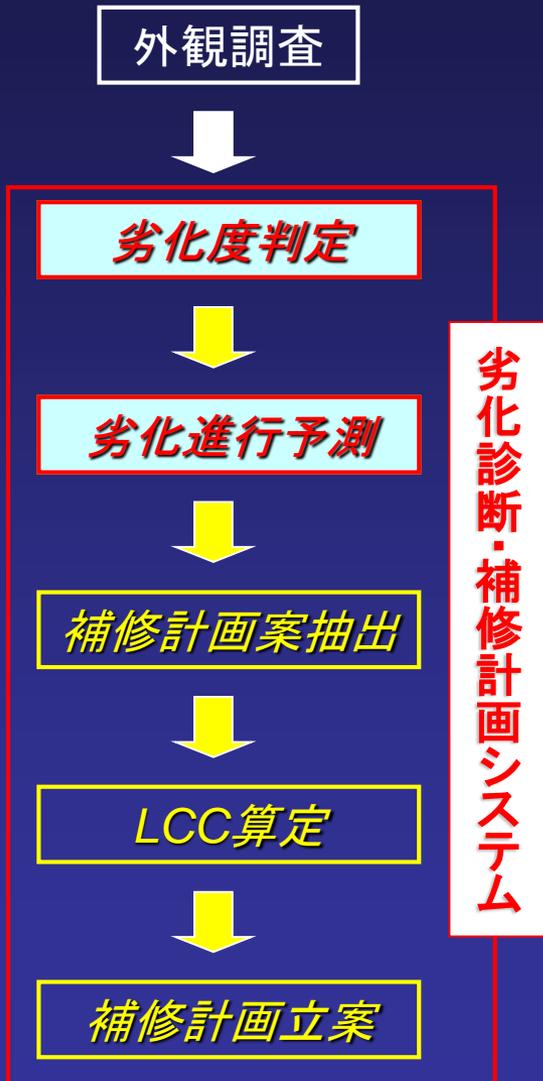
④システムの利用事例

- ・アセットマネジメントの考え方を取り入れた維持補修計画例

⑤新たな取組

- ・地球温暖化への対応を考慮した施設の維持管理

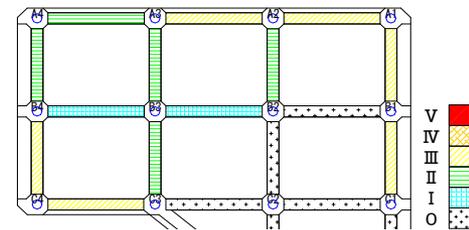
システムの概要



①劣化診断・進行予測を行います

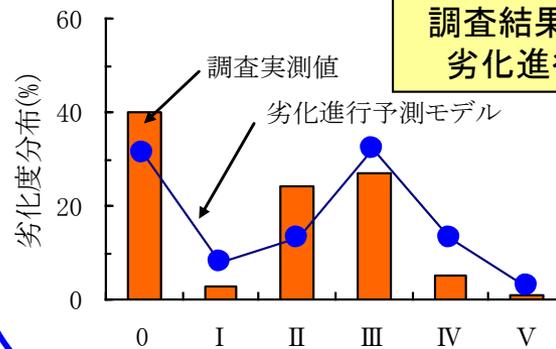
劣化コンクリート診断エキスパートシステム

プロの診断！

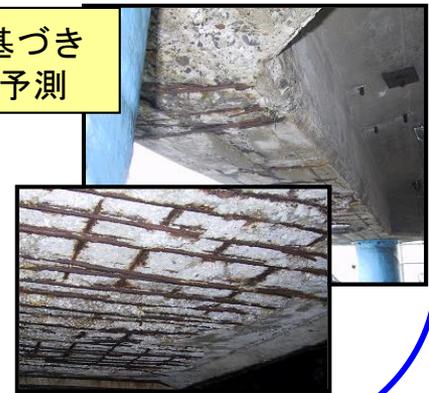


劣化進行予測システム

劣化進行を
精度良く予測！

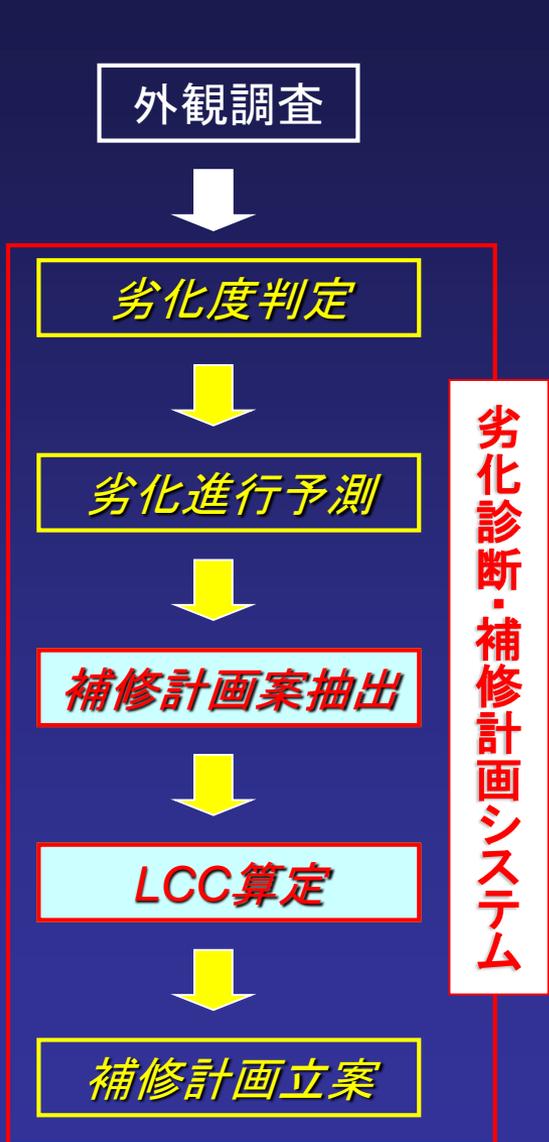


調査結果に基づき
劣化進行を予測

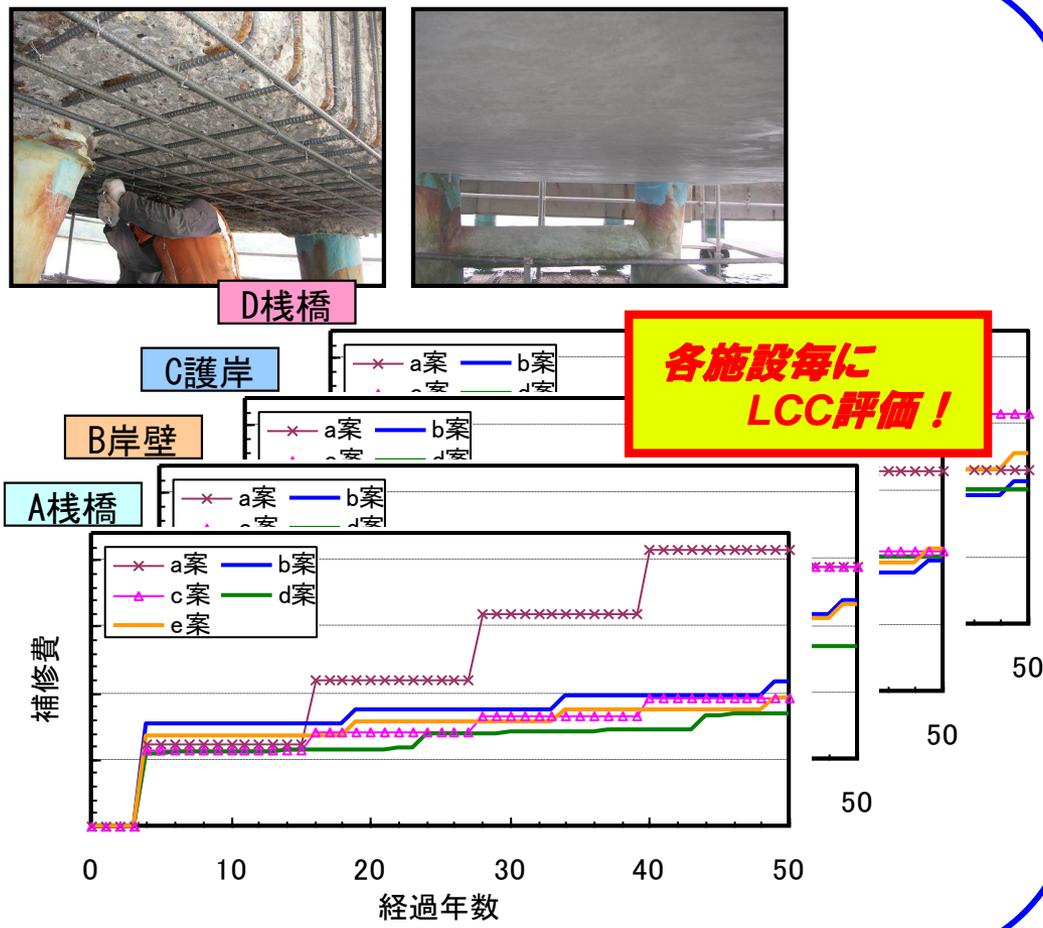


夢から感動へーハートテクノロジー

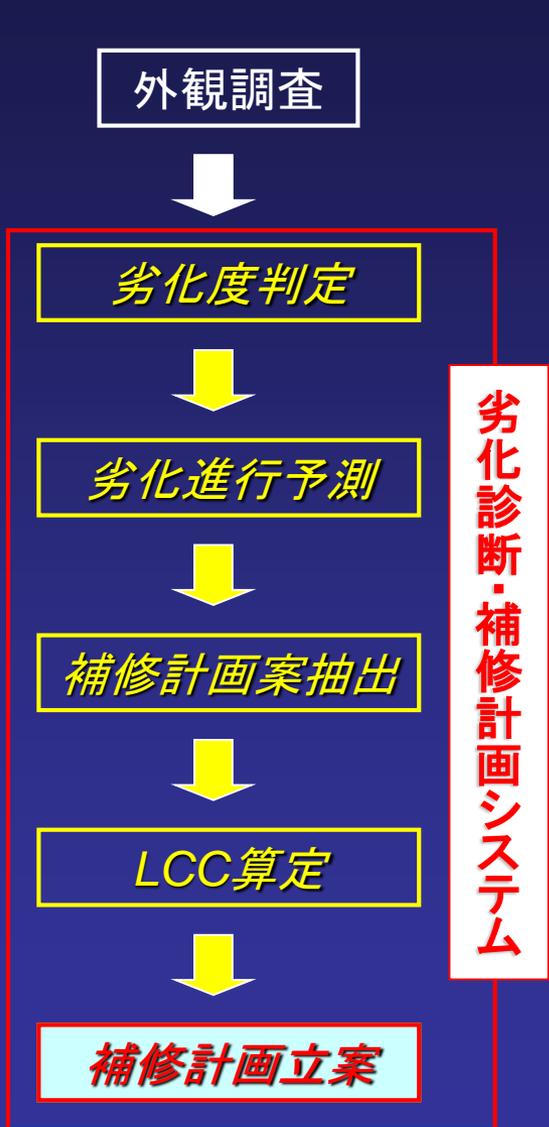
システムの概要



②LCC(ライフサイクルコスト)を評価します

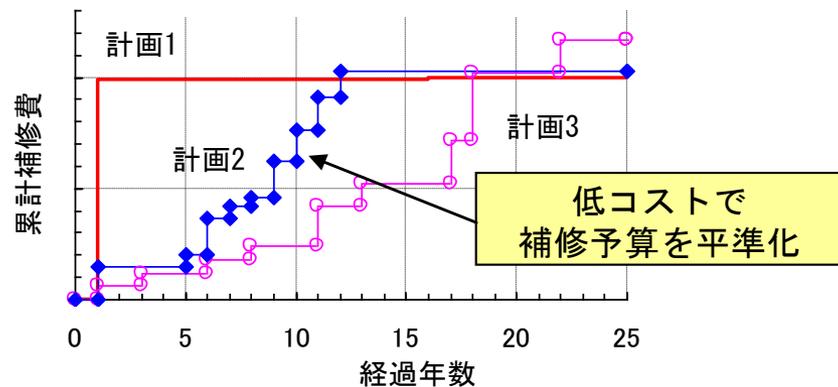


システムの概要



③補修計画を作成・提案します

アセットマネジメントの考え方を
取り入れた維持補修計画を実現！



夢から感動へーハートテクノロジー

システムの特長

INPUT

劣化度分布（調査時）

マルコフ連鎖

遷移確率の算出

将来の劣化度分布を予測

補修時期・方法・範囲選定

補修後の劣化度分布を予測

補修費用の算出

OUTPUT

各補修計画のLCC評価

【特長1】

- 目視調査のみでLCC算定可能

【特長2】

- 精度の良い遷移確率の設定

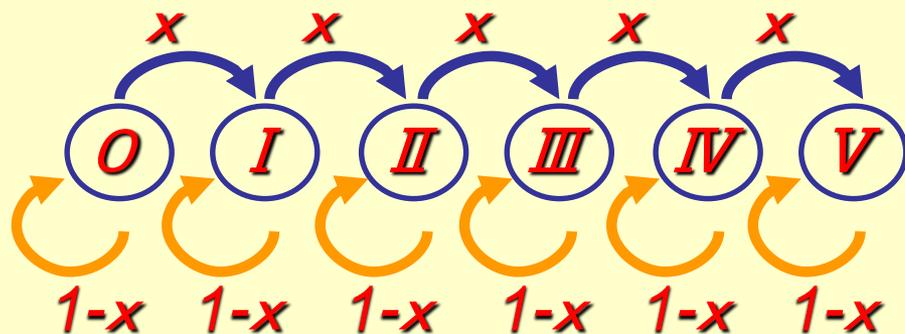
【特長3】

- 劣化進行のバラつきを考慮可能

【特長4】

- 単一施設のLCC評価結果を組み合わせ、複数施設の補修計画が可能

劣化進行予測手法（一般的な方法）

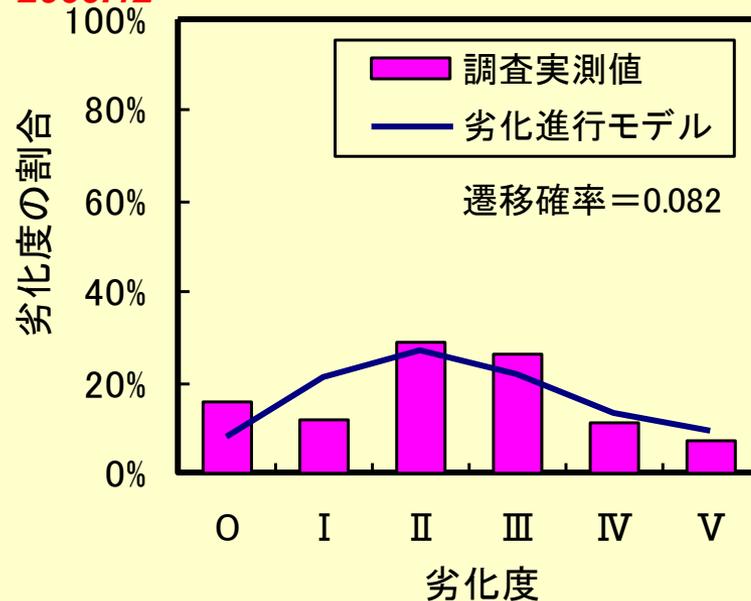


— マルコフ連鎖推移図 —

$$\begin{pmatrix} O \\ I \\ II \\ III \\ IV \\ V \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1-x & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ x & 1-x & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & x & 1-x & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & x & 1-x & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & x & 1-x & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & x & 1 \end{pmatrix}^t \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

t : 経過年数, x : 遷移確率

参考) 小牟禮健一, 濱田秀則, 横田弘, 山路徹:
RC 栈橋上部工の塩害による劣化進行モデルの
開発, 港湾空港技術研究所報告, 第41巻, 第4号,
2000.12



— 遷移確率の算出例 —
(梁: 経過年数30年)

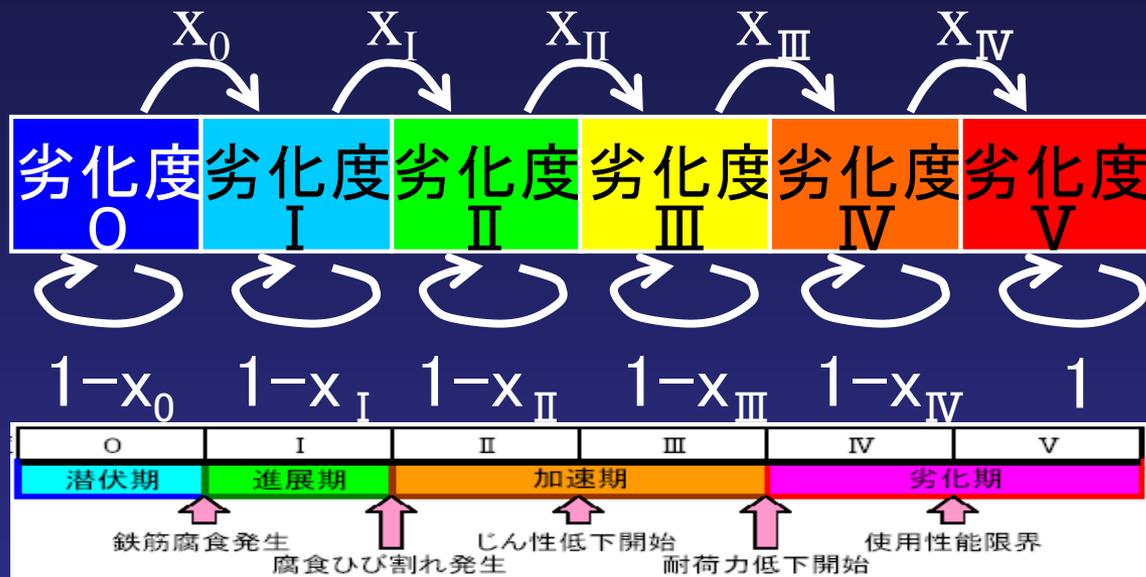
遷移確率の算定方法

調査時点の劣化度の割合と建設時からの経過年数をもとに算定

夢から感動へ—ハートテクノロジー—

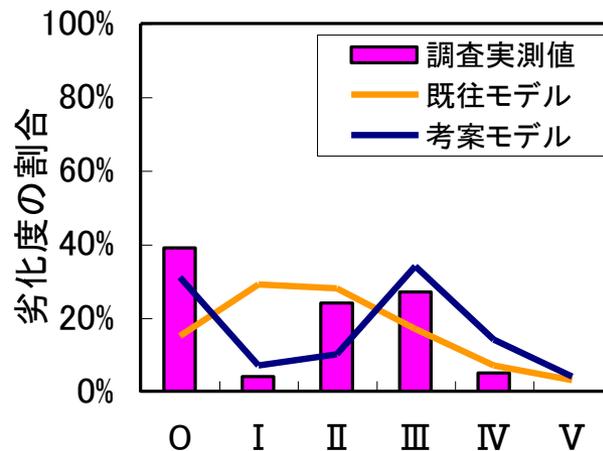
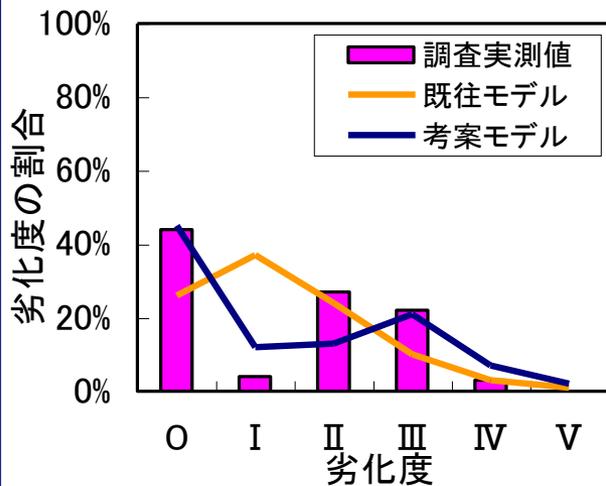


劣化進行予測手法（本システムの方法）



遷移確率の算定方法

塩化物イオン浸透速度、
鉄筋の腐食速度をもと
に算定



劣い夢から感動へーハートテクノロジー

【遷移確率改良の考え方】

— 各劣化度の期間の推定 —

・ 潜伏期, 進展期 ($T_0 \sim T_I$) の推定

→ 塩化物イオンの拡散予測

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

$C(x, t)$: 深さ x , 経過年数 t における塩化物イオン濃度, C_0 : 表面における塩化物イオン濃度, D : 塩化物イオンのみかけの拡散係数, erf : 誤差関数

劣化期間と塩化物イオン濃度
 $T_0: 1.2\text{kg/m}^3, T_I: 2.0\text{kg/m}^3$

・ 加速期 ($T_{II} \sim T_{IV}$) の推定

→ 鉄筋腐食減少率の予測

$$V = 4ac / (\phi \cdot \gamma) \times \exp(\alpha \cdot t / a)$$

V : 鉄筋の体積減少率, γ : 鉄筋の単位体積重量, a : 腐食量とひび割れ幅を関係付ける係数, c : 腐食による初期のひび割れ幅, ϕ : 鉄筋径, t : 経過年数, α : 腐食速度とひび割れ幅の関係付け係数

劣化期間と鉄筋の断面減少率
 $T_{II}: 1\%, T_{III}: 5\%, T_{IV}: 20\%$

$$\begin{pmatrix} 0 \\ I \\ II \\ III \\ IV \\ V \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1-x_0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ x_0 & 1-x_I & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & x_I & 1-x_{II} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & x_{II} & 1-x_{III} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & x_{III} & 1-x_{IV} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & x_{IV} & 1 \end{pmatrix}^t \begin{pmatrix} b_0 \\ b_I \\ b_{II} \\ b_{III} \\ b_{IV} \\ b_V \end{pmatrix}$$

t : 調査後の経過年数, $x_0 \sim x_{IV}$: 遷移確率
 $b_0 \sim b_V$: 調査時の劣化度分布

遷移確率の設定

劣化度	0	I	II	III	IV	V
劣化期間の比率	T_0	T_I	T_{II}	T_{III}	T_{IV}	
遷移確率	$x_0 = x/T_0$	$x_I = x/T_I$	$x_{II} = x/T_{II}$	$x_{III} = x/T_{III}$	$x_{IV} = x/T_{IV}$	
	潜伏期	進展期	加速期	劣化期		

$$T_n = t_n / (\sum t_n / 5)$$

ここで, T_n : 劣化度 n の劣化期間の比率
 t_n : 劣化度 n の劣化期間

参考) 古玉悟, 田邊俊郎, 横田弘, 濱田秀則, 岩波光保, 日比智也: 棧橋の維持補修マネジメントシステムの開発, 港湾技研資料, No.1001, 2001.3

夢から感動へーハートテクノロジー

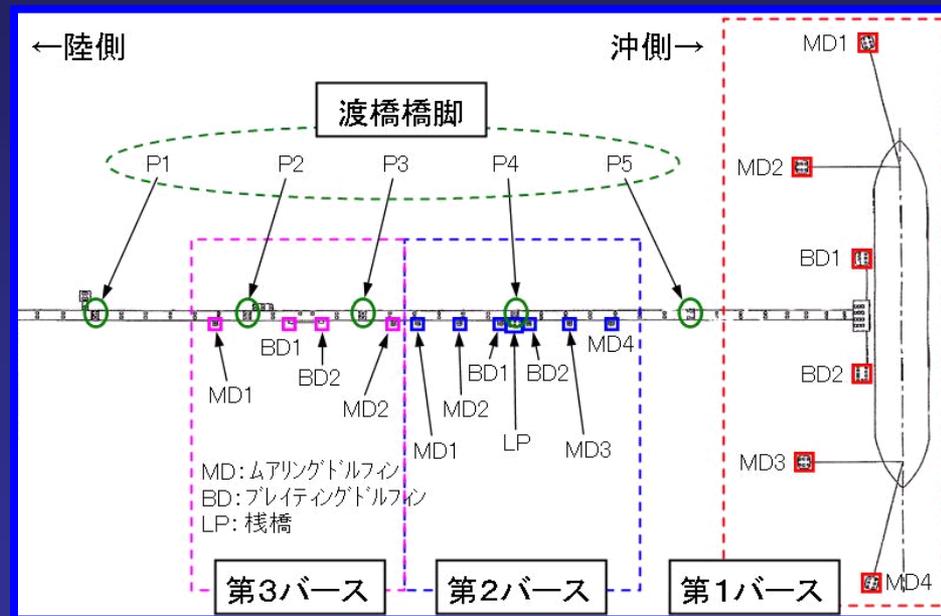


システムの利用事例

アセットマネジメントの考え方を取り入れた維持補修計画例

【適用事例】: バース全体の補修計画

- 供用期間: 今後25年
- 要求性能: 「安全性能」, 「使用性能」
- コスト: できるだけ**最小**, 各年度毎に**平滑化**
- 対象構造物: RC部分 (鋼管杭, 鋼製部材は対象としていない)



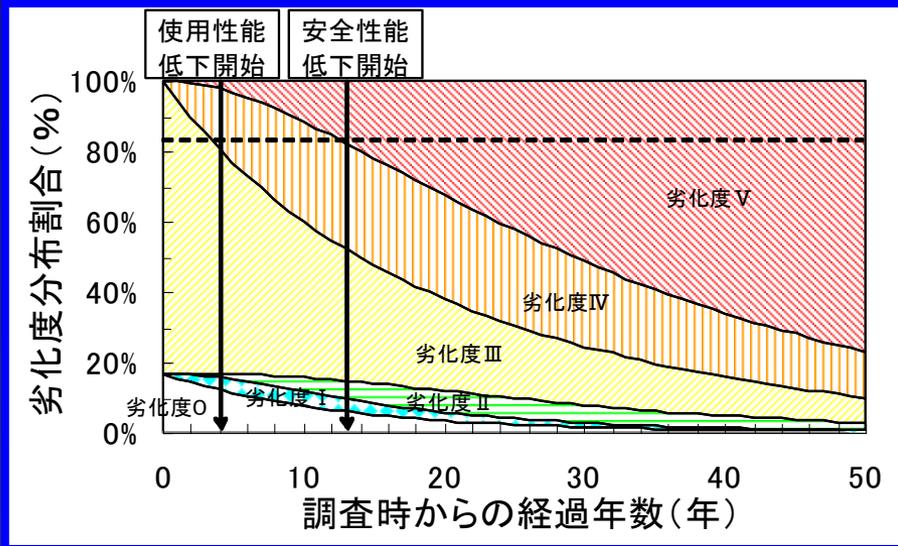
対象港湾施設内の構造物
(建設から15~34年経過したものが混在)

夢から感動へーハートテクノロジー

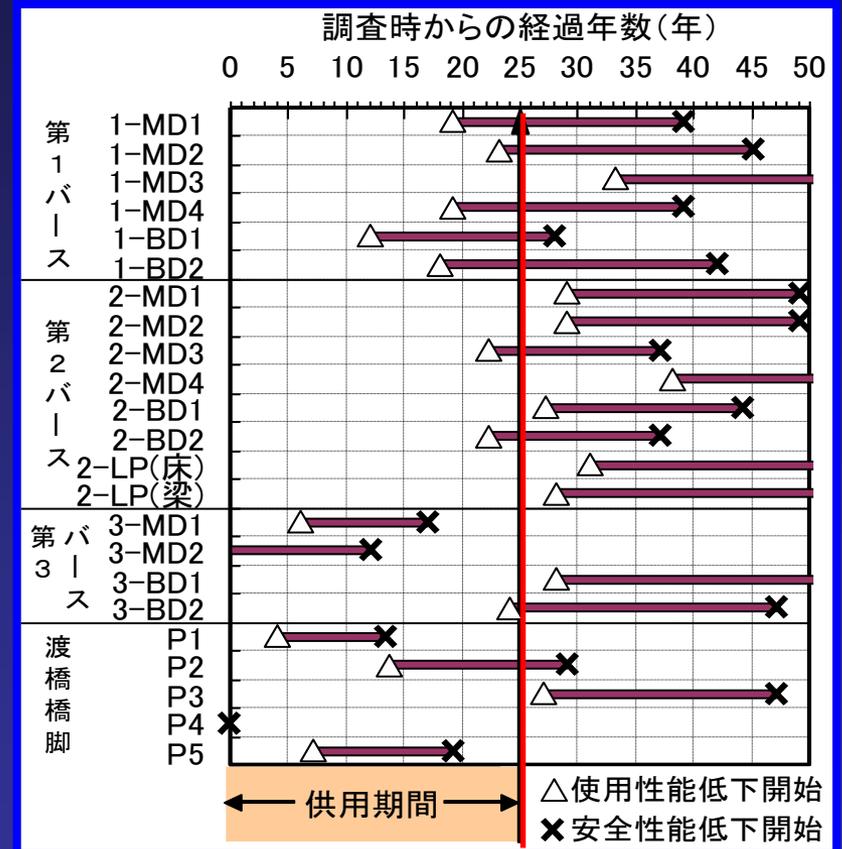


システムの利用事例

アセットマネジメントの考え方を取り入れた維持補修計画例



劣化進行予測結果の例



各構造物の性能低下と経過年数の関係

劣化度判定基準

劣化度	0	I	II	III	IV	V
グレード	潜伏期	進展期	加速期		劣化期	
鉄筋腐食発生	→					
腐食ひび割れ発生		→				
じん性低下開始			→			
耐荷力低下開始(使用性能低下開始)				→		
部分的な使用制限開始(安全性能低下開始)					→	



夢から感動へーハートテクノロジー



システムの利用事例

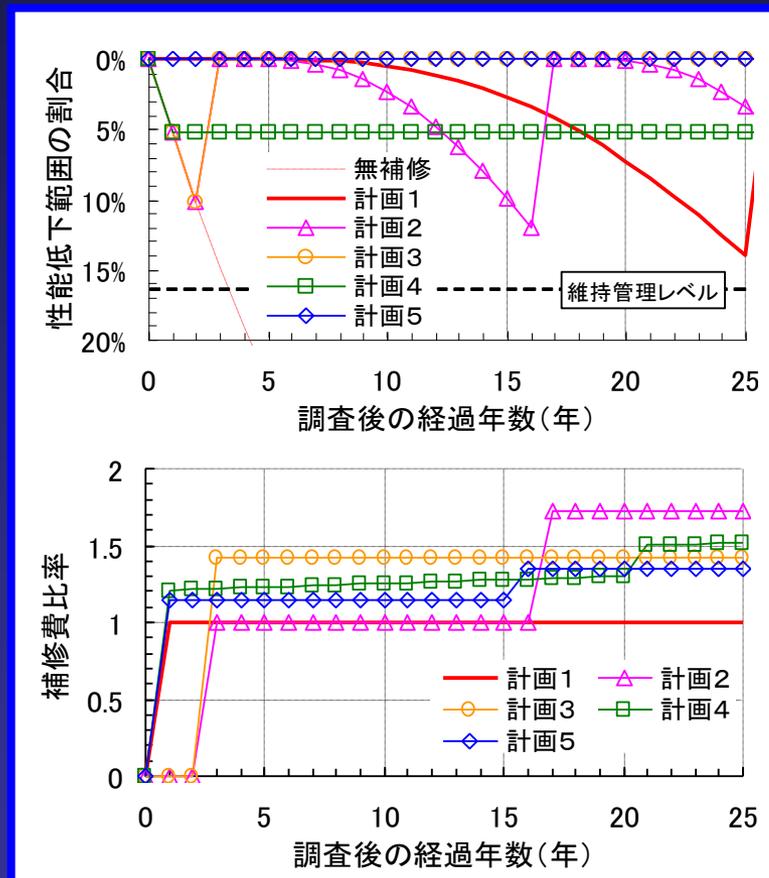
アセットマネジメントの考え方を取り入れた維持補修計画例

記号	補修方法
A	大断面修復＋補強鉄筋＋FRP接着
B	大断面修復＋FRP接着
C	大断面修復＋表面塗装
D	大断面修復
E	小断面修復＋電気防食

補修方法	耐用年数	補修効果
大断面修復	再予測	劣化度が健全に回復
小断面修復	再予測	回復なし(準備工)
表面塗装	15年	耐用年数まで劣化度の進行なし
電気防食	20年 ^{注)}	
FRP接着	30年	

注) 配電設備の耐用年数

計画	補修方法	補修時期	補修範囲
1	D	翌年	全面
2	D	3年後,17年後	
3	B	3年後	
4	E	翌年,21年後	
5	C	翌年,16年後	



補修計画案設定結果の例

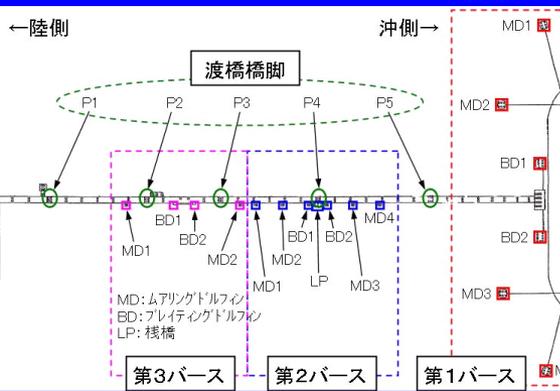
夢から感動へーハートテクノロジー



システムの利用事例

アセットマネジメントの考え方を取り入れた維持補修計画例

補修優先順位 の考え方



$$y = b - \alpha(b - a)$$

y: 要対策年

a: 使用性能低下開始年

b: 安全性能低下開始年

α: 各構造物の重要度 (0 < α ≤ 1)

ここで、

第1バース: 第2バース: 第3バース: 渡橋橋脚 = 1: 0.8: 0.2: 1とした

構造物名	使用性能 低下開始年	安全性能 低下開始年	重要度	要対策年
1-MD1	19	39	1	19
1-MD2	23	45	1	23
1-MD3	33	58	1	33
1-MD4	19	39	1	19
1-BD1	12	28	1	12
1-BD2	18	42	1	18
2-MD1	29	49	0.8	33
2-MD2	29	49	0.8	33
2-MD3	22	37	0.8	25
2-MD4	38	62	0.8	42
2-BD1	27	44	0.8	30
2-BD2	22	37	0.8	25
2-LP(床)	31	53	0.8	35
2-LP(梁)	28	51	0.8	32
3-MD1	6	17	0.2	14
3-MD2	0	12	0.2	9
3-BD1	28	53	0.2	48
3-BD2	24	47	0.2	42
P1	4	13	1	4
P2	14	29	1	14
P3	27	47	1	27
P4	0	0	1	0
P5	7	19	1	7

※表内の年数は調査時からの経過年数

並び替え
→

構造物名	要対策年
P4	0
P1	4
P5	7
3-MD2	9
1-BD1	12
3-MD1	14
P2	14
1-BD2	18
1-MD1	19
1-MD4	19
1-MD2	23
2-MD3	25
2-BD2	25
P3	27
2-BD1	30
2-LP(梁)	32
1-MD3	33
2-MD1	33
2-MD2	33
2-LP(床)	35
2-MD4	42
3-BD2	42
3-BD1	48

補修計画の検討

供用期間
25年

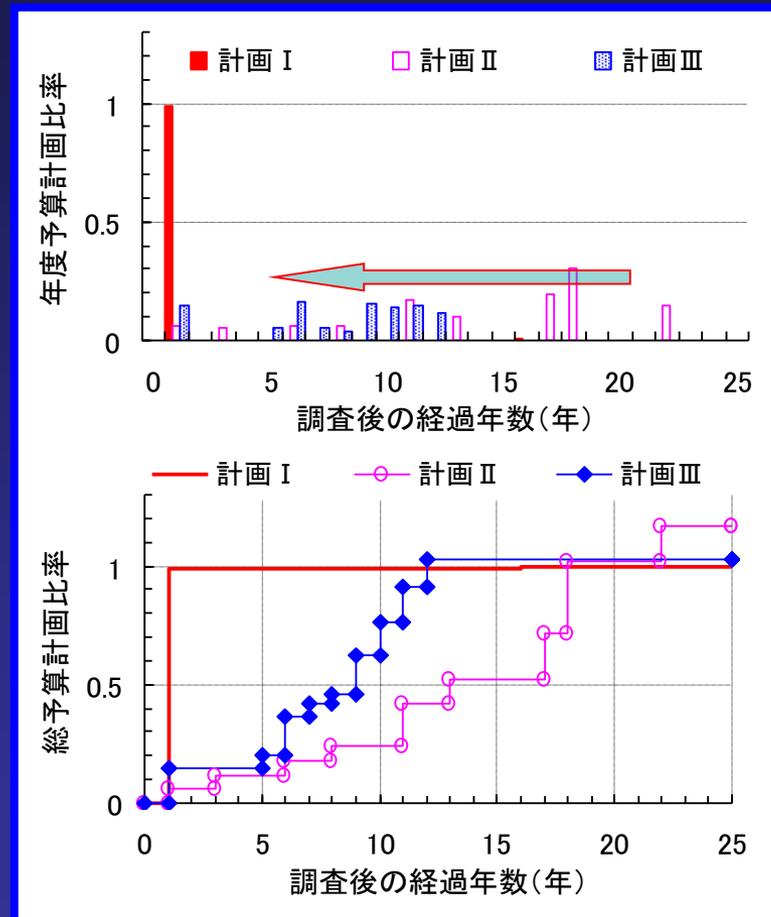
点検維持管理

システムの利用事例

アセットマネジメントの考え方を取り入れた維持補修計画例

構造物名	計画 I	計画 II	計画 III
P4	A/1	A/1	A/1
P1	D/1	B/3	D/1
P5	D/1	B/6	D/1
3-MD2	C/1,16	B/8	B/5
1-BD1	D/1	D/11	D/6
3-MD1	D/1	B/13	B/7
P2	D/1	D/13	D/8
1-BD2	D/1	D/17	D/9
1-MD1	D/1	D/18	D/10
1-MD4	D/1	D/18	D/11
1-MD2	D/1	D/22	D/12

※表内は 補修方法/補修実施年 を示す



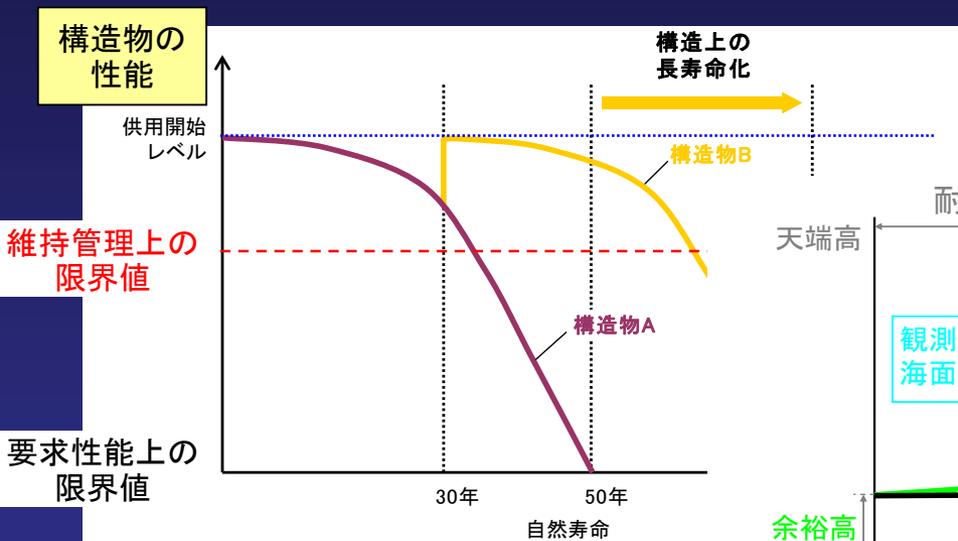
予算計画選定結果の例

計画 I	総予算が最小であるが、初年度対策費が大
計画 II	単年度予算は縮小できるが、総予算が I より17%up
計画 III	単年度予算が縮小でき、総予算も I より3%up程度

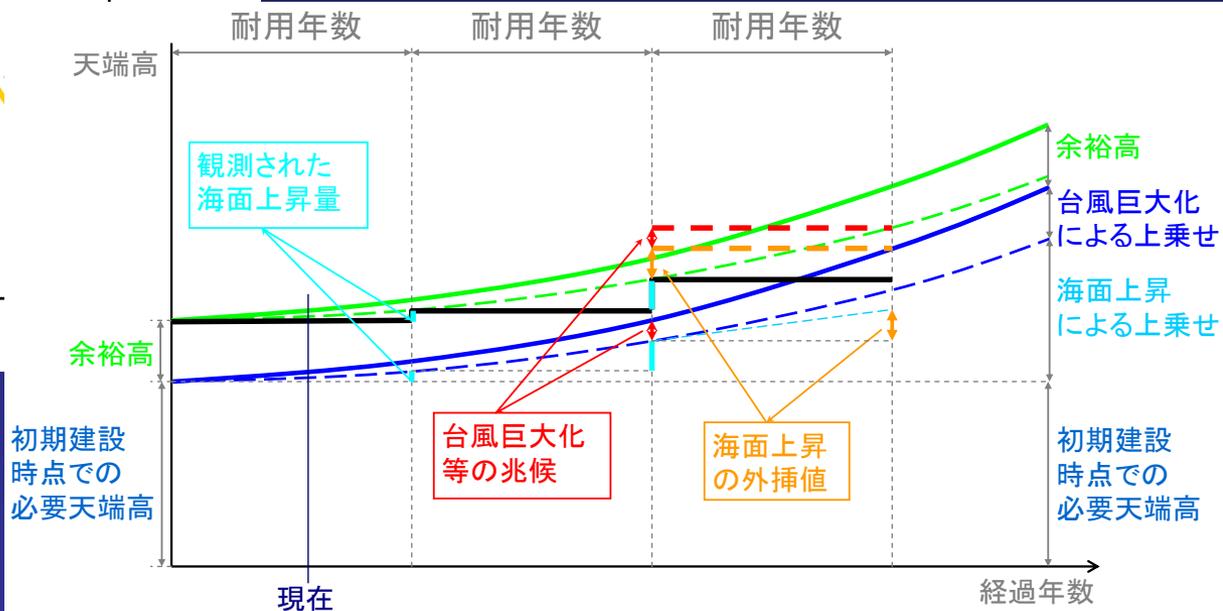
新たな取組

地球温暖化への対応を考慮した施設の維持管理

従来の維持管理の考え方



地球温暖化への対応の一例（必要天端高）



従来の性能回復だけでなく、予想されるリスクへの対応

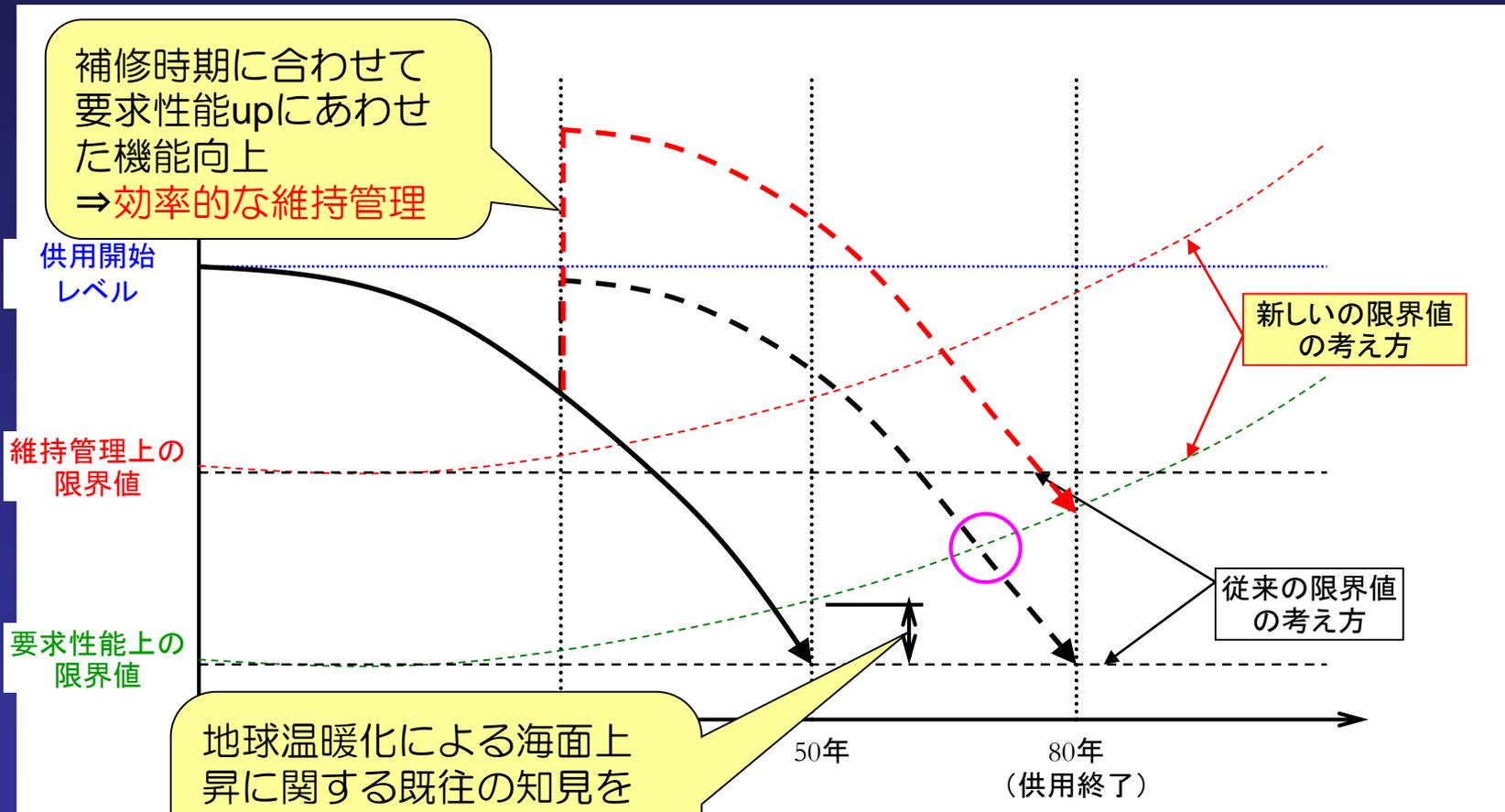
夢から感動へーハートテクノロジー



新たな取組

地球温暖化への対応を考慮した施設の維持管理

新しい維持管理の考え方



Fin

長時間お付き合い戴き、ありがとうございました

補修工法の選定手法

【維持管理レベル】 ※管理者の要望に合わせて設定する

維持管理レベルⅠ：高い水準の損傷劣化対策を行う(事前対策型)

維持管理レベルⅡ：構造物の性能低下を起こさない(予防保全型)

維持管理レベルⅢ：供用期間中は要求性能を満足する(事後保全型)

【補修時期と対策工法】

補修方法	*)他工法との併用 ***)補強鉄筋を配置					
表面塗装	○	○*)	○*)	○*)		
断面修復		△	◎	◎	○	○**)
電気防食		◎	◎	○	○	○**)
FRP接着				△*)	○*)	○*)**)
部材劣化度	0	I	II	III	IV	V
	潜伏期	進展期	加速期		劣化期	
		鉄筋腐食発生	腐食ひび割れ発生	じん性低下開始	耐荷力低下開始	使用性能限界