

技術審議会
長期維持管理技術委員会(平成29年度 第1回)
平成30年 3月30日

維持管理マネジメント高度化検討状況 (RC床版)

背景

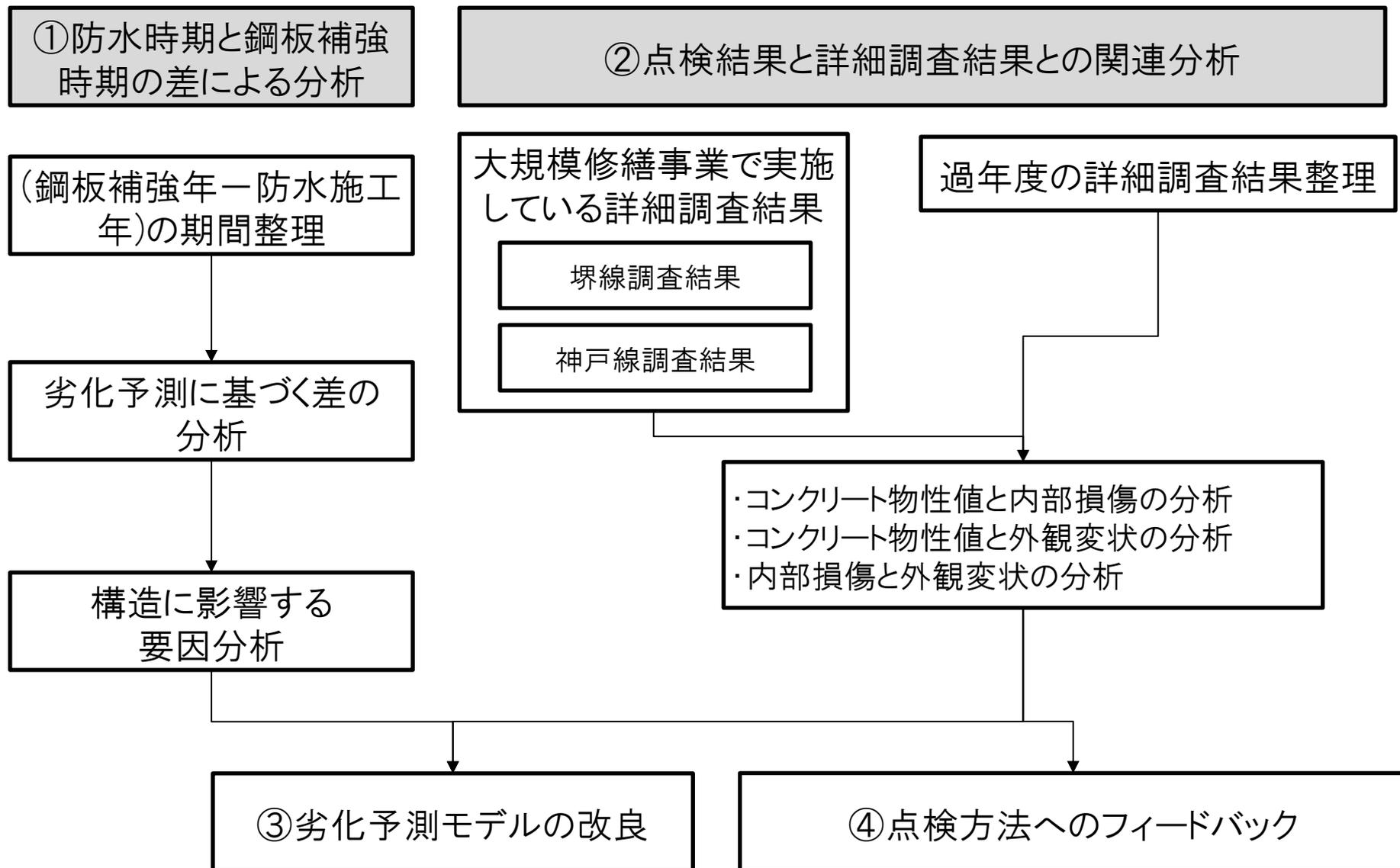
- 平成26年度には、工種単位に外観変状と変状の数に基づく性能評価方法(安全性、耐久性、使用性)について検討
- 平成28年度には、RC床版の安全性に着目した劣化モデルと大規模更新・修繕を考慮したLCC評価モデルを構築



- 鋼板補強と床版防水の時期の違いにより床版内部が滞水し、劣化を促進させる恐れがある
- 鋼板補強済床版については内部で損傷している場合もあるため、外観変状と健全性に影響する内部損傷との相関分析を実施し、内部損傷の情報を性能評価に反映させる必要がある

目的

- ① 床版防水、鋼板補強時期の違いによる影響を検討
- ② 外観変状と、床版内部損傷や物性値との関係を整理し、性能低下に影響のある外観変状や要因を抽出
- ③ 検討結果を踏まえて、劣化モデルを改良



①防水時期と鋼板補強時期の差による分析

防水時期と鋼板補強時期の差による分析

分析方針

- 平成28年度検討の劣化予測モデルを活用した比較を実施
- 防水の効果、あるいは鋼板補強の影響がみられるのであれば、劣化速度の違いを評価することで比較が可能

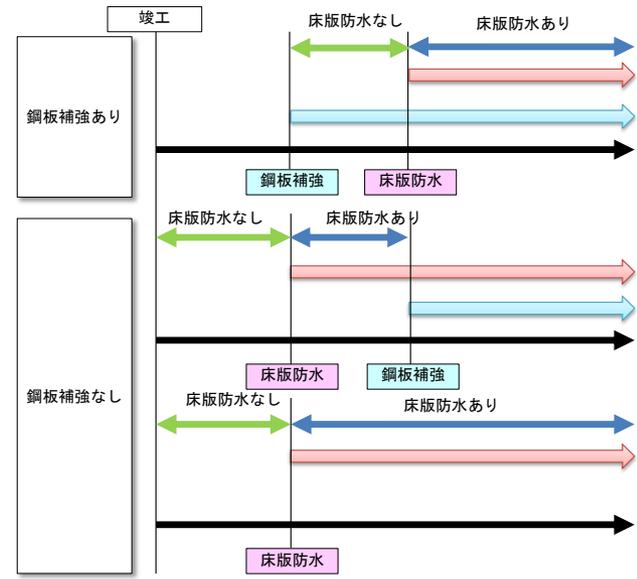
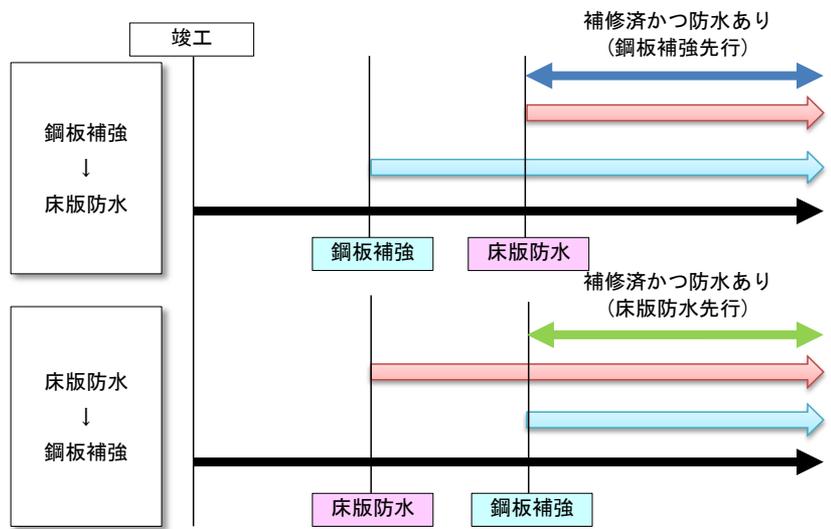
計算ケース

■ 鋼板補強済かつ防水あり

- ① 鋼板補強先行ケース
- ② 床版防水先行ケース

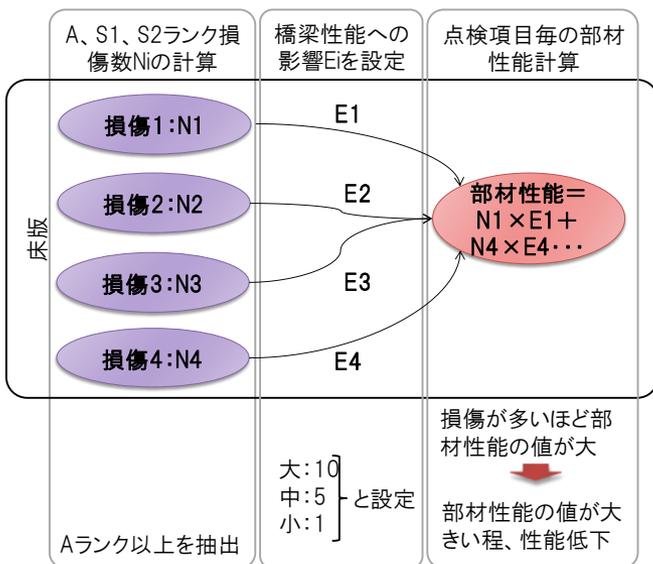
■ 鋼板補強済あるいは防水あり

- ① 鋼板補強のみケース
- ② 床版防水のみケース



推移確率計算の考え方:性能の定義

- ① 性能は床版に発生しているAランク以上の損傷を対象とし、損傷ごとに設定する重みと損傷数との積の和で定義する
- ② 安全性に着目して、性能評価値を導出
- ③ 最小値は0、値が大きくなるほど性能が低下



点検項目		想定される主要因	性能への影響		
不良音		交通荷重による疲労	安全性	耐久性	使用性
漏水・遊離石灰他		交通荷重による疲労	安全性	耐久性	使用性
鋼板さび腐食		雨水、中性化・塩害等	安全性	耐久性	使用性
鋼板の変形		雨水、中性化・塩害等	安全性	耐久性	使用性
シール材剥離など		経年劣化他	安全性	耐久性	使用性
アンカーボルト他		雨水、中性化・塩害等	安全性	耐久性	使用性
その他	合成桁	交通荷重による疲労	安全性	耐久性	使用性
	非合成桁	交通荷重による疲労	安全性	耐久性	使用性

重み



大



中



小

推移確率計算の考え方: 推移確率の計算概念

- ① 連続的に変化する性能評価値を5ランクに分類
- ② 5ランクに分類した性能評価値の1年後の推移確率※を算出し、劣化モデルを導出

ランク	安全性 性能評価値
I	0
II	1以上、5以下
III	6以上、10以下
IV	11以上、30以下
V	31以上

※: 津田尚胤、貝戸清之、青木一也、小林潔司: 橋梁劣化予測のためのマルコフ推移確率の推定、土木学会論文集、No.801/ I - 73、pp69-82、2005

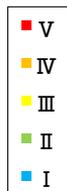
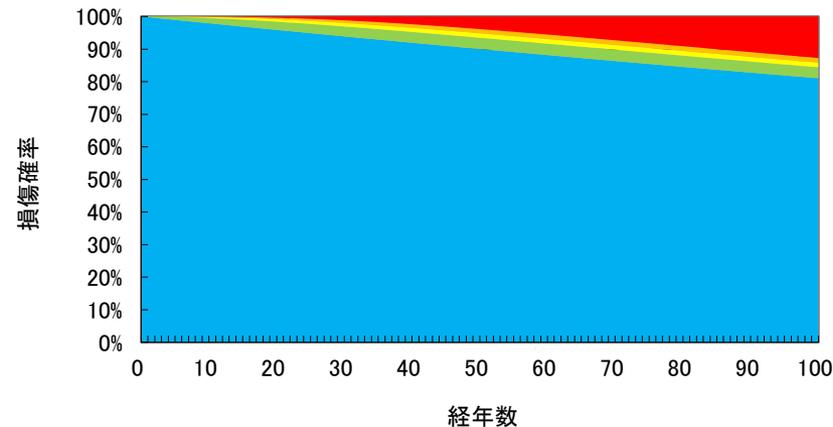
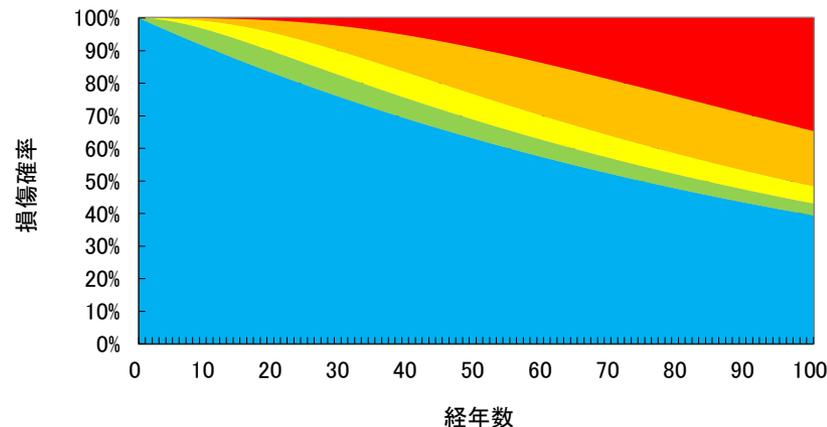
防水の影響計算結果(鋼板補強時期の差)

- 補修済床版について、鋼板補強を先行して実施した方が劣化速度が速い
- 鋼板補強を先行して実施することで、床版内部が滞水し、劣化を促進している可能性

鋼板補強先行

床版防水先行

補修済床版



防水時期と鋼板補強時期の差による分析

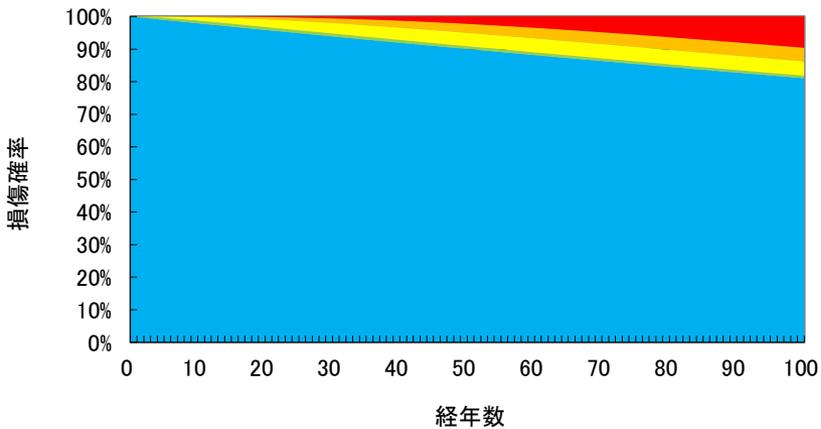
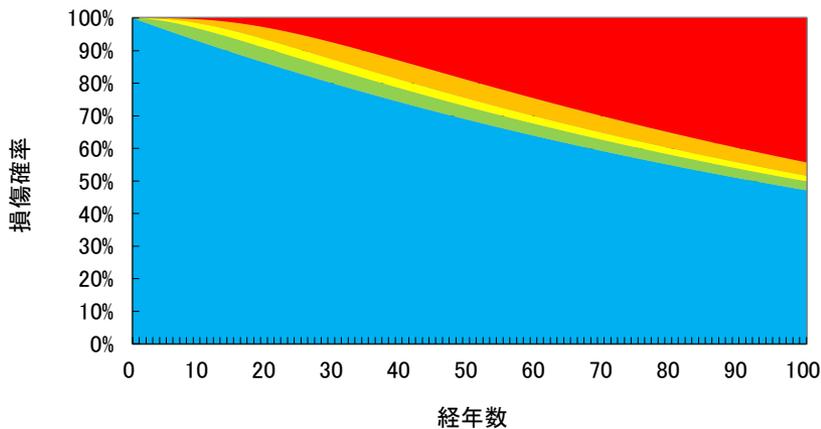
防水の影響計算結果(床版防水の有無)

- 床版防水がない方が劣化速度が速い
- 床版防水の効果は、補修済床版よりも未補修床版の方が大きい

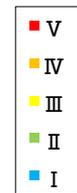
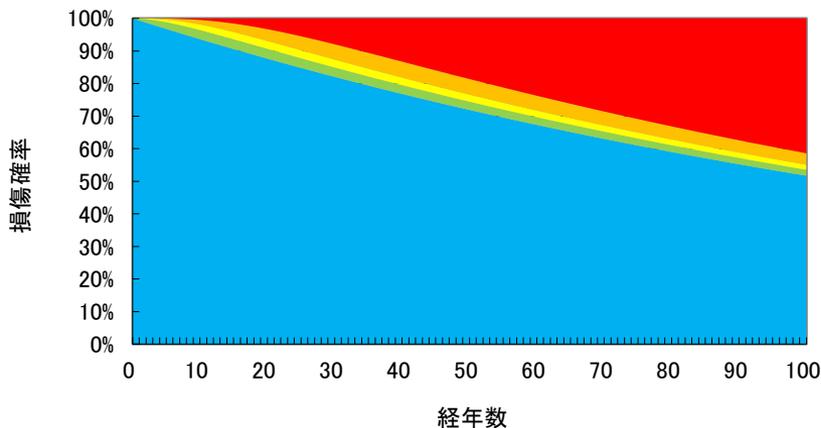
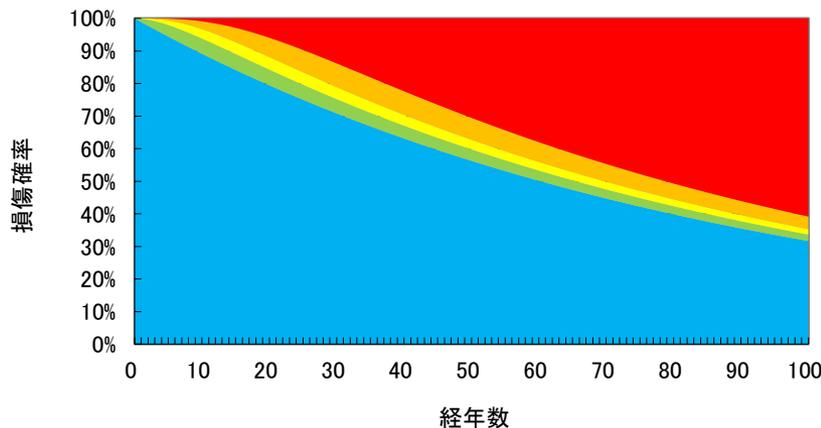
床版防水なし

床版防水あり

未補修床版



補修済床版



防水時期と鋼板補強時期の差による分析

補修済床版における性能評価値(ランク)ごとの損傷発生数/径間/点検

- 補修済床版で床版防水がある床版について、補強が先行している床版は、「補修済_不良音」が発生し、防水が先行している床版より「補修済_さび発生」の損傷数が多い
- 床版防水のない補修済床版も、「補修済_さび発生」の数が多い
- 防水が先行している床版には「補修済_不良音」が発生していない

			補修済_さび発生	補修済_不良音	補修済_漏水・遊離石灰	補修済_シールはく離	補修済_その他	補修済_ホルトゆるみ	補修済_ホルト欠損	補修済_鋼板そり
補強あり 防水あり	補強先行	II	0.082	0.504	0.161		0.364	0.015	0.088	0.088
		III	0.250	0.706	0.333		0.400	0.028	0.067	0.022
		IV	0.345	2.088	0.442		0.841	0.044	0.080	0.027
		V	0.737	6.474	0.789		0.895		0.158	
	防水先行	II	0.000		0.000		0.500	0.200	0.300	
		III	0.333		1.333		0.000	0.000	0.000	
		IV	0.000		1.333		0.667	0.000	0.000	
		V								
補強先行防水なし		II	0.078	0.526	0.259	0.009	0.181	0.009	0.034	0.017
		III	0.345	0.673	0.436	0.036	0.309			0.055
		IV	0.500	1.262	0.476	0.071	0.762			
		V	4.600	0.333	0.933	3.333	4.000			

未補修床版におけるランクごとの損傷発生数/径間/点検

- ランクⅡからⅣの間では、防水がない床版は「ひび_亀甲状」を除いて損傷数が多い
- 特に、鉄筋露出、遊離石灰や漏水の数が防水がある場合よりも多く、路面からの水が床版内部に浸透していることを示唆する
- 言い換えると、損傷が極端に進行していない限り、床版防水の効果は非常に期待できると考えられる

		CO状態_鉄筋露出	CO状態_遊離石灰	CO状態_漏水	ひび_線状	ひび_亀甲状	CO状態_さびの流出	CO状態_その他	CO状態_はく離	CO状態_空洞	CO状態_豆板
防水なし補強なし	Ⅱ	0.310	0.381	0.417	0.988		0.060		0.143		
	Ⅲ	0.618	0.471	0.500	0.029	0.294		0.029	0.706	0.029	
	Ⅳ	0.647	0.588	0.706	0.412	0.882			1.294	0.059	0.059
	Ⅴ	0.200	2.000	0.400		3.400			1.200		
防水あり補強なし	Ⅱ	0.088	0.211	0.298	0.649		0.035	0.421	0.140		
	Ⅲ	0.310	0.069	0.034	0.759	0.448	0.069	0.241	0.414		
	Ⅳ	0.400	0.250	0.100	1.350	1.250		0.200	0.300		
	Ⅴ	2.800		0.800		6.000			2.400		

補修済床版の防水効果に関する考察

- 床版防水の効果が確認できた
- 床版防水を先行した場合より、鋼板補強を先行した場合の方が「補修済_さび発生」「補修済_不良音」の数が多い
- 特に、「補修済_さび発生」に着目すると、鋼板補強のみの床版と同じように発生している
- 鋼板補強を先行した床版について、床版防水の前後で、劣化速度に劇的な改善がみられない



- 床版防水前の補修済床版内部に水が浸透していることを示唆
- 床版防水を先行して実施することの重要性を示唆



- 床版防水の効果を期待することができる
- 鋼板補強を先行した場合、水などの影響により鋼板の接着作用が早期に喪失している可能性
- 水の影響により疲労損傷が促進され、床版のたわみが増加したために不良音が発生している可能性

②点検結果と詳細調査結果との関連分析

フレッシュアップ工事等でのRC床版の詳細調査

- RC床版・軽量コンクリート床版5,156径間のうち、S48以前竣工かつ補強済21径間、未補修床版2径間で詳細調査実施

RC床版・軽量Co床版(5,156径間)

S48以前竣工(2,744径間)

S48以前竣工&補強済(2,535径間)

補強済(2,835径間)

コンクリート物性値(25パネル)
 圧縮強度: 設計値より高い・低い混在
 静弾性係数 ≤ 設計値
 中性化深さ: 床版上面より下面の方が進行
 塩分濃度: 上面の方が塩分量多い傾向

鉄筋健全度(26パネル)
 腐食度: 概ね健全(一部腐食度IVあり)

内部損傷(79パネル)
 調査したパネルの半分程度で内部損傷あり

輪荷重走行試験(2パネル)
 内部損傷あり: 6,000輪数(押し抜きせん断破壊)
 内部損傷なし: 80,000~110,158輪数(同上)

たわみ測定(2パネル)
 支間中央部: 0.35~0.36mm(床版支間: 3.61m)

コンクリート物性値(4パネル)
 圧縮強度 < 設計値
 静弾性係数 < 設計値
 中性化深さ: 床版上面より下面の方が進行
 塩分濃度: 上面の方が塩分量多い傾向

内部損傷(8パネル)
 8パネル中7パネルで内部損傷あり

たわみ測定(2パネル)
 支間中央部: 0.17~0.18mm(床版支間: 2.73m)

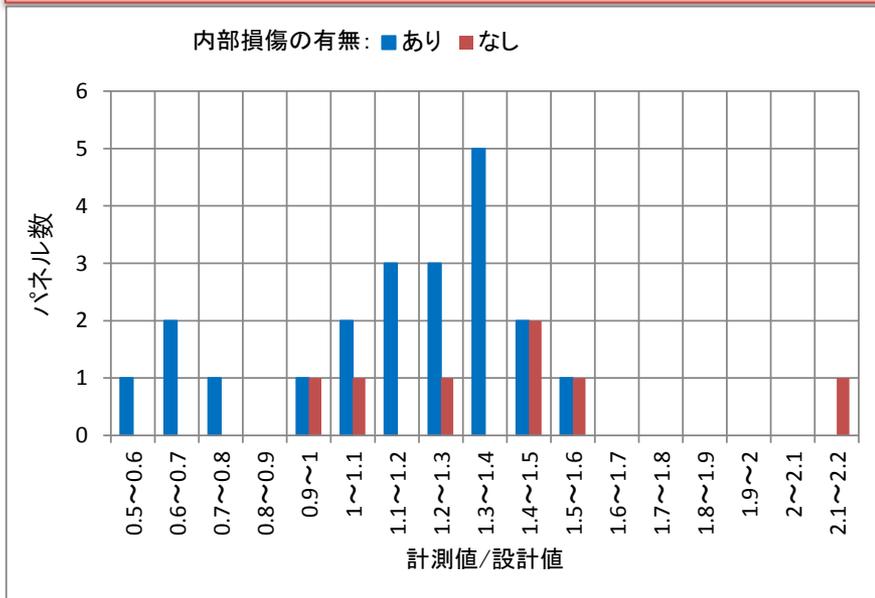
損傷発生箇所について詳細調査を実施

- ① 静弾性係数は設計値を下回る傾向にあるが、圧縮強度はばらつく
- ② 鉄筋は概ね健全である
- ③ 輪荷重試験の結果、内部損傷があるパネルの疲労寿命が短い
- ④ 鋼板補強がなされていないランプ部も内部損傷があり、コンクリート物性値が低いものがある
- ⑤ 鋼板の不良音と内部損傷とが関連する可能性について言及している調査報告書がある

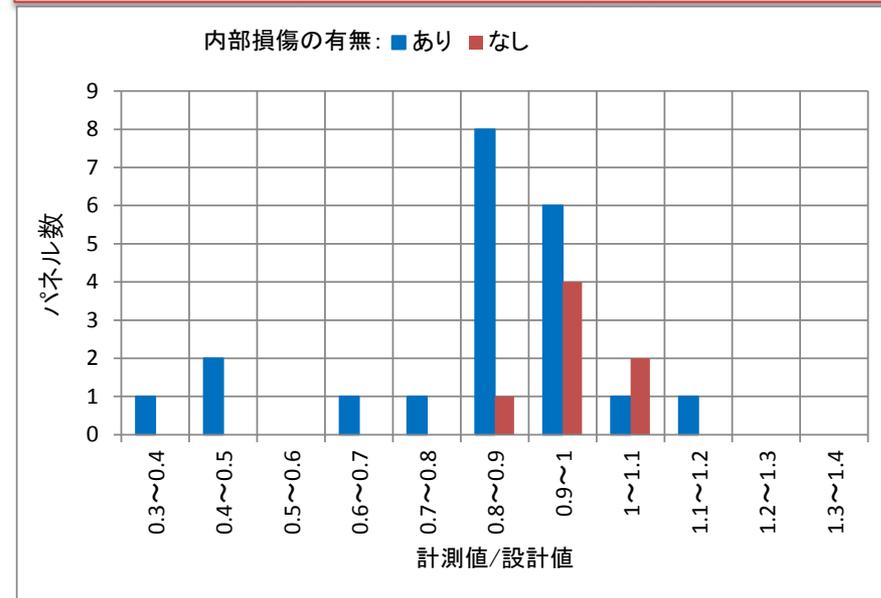
圧縮強度、静弾性係数と内部損傷との関係

- 圧縮強度については、ほぼ全ての範囲で内部損傷が確認されているため、内部損傷との間に関連がないと考えられる
- 静弾性係数については、静弾性係数の比の値が0.8未満については、全てのパネルで内部損傷が確認されており、内部損傷との間に一定の関連があると考えられる
- なお、圧縮強度および静弾性係数が悪いパネルについては中性化が進行しており、施工当初からコンクリートの品質が悪かった可能性が考えられる

圧縮強度と内部損傷



静弾性係数と内部損傷



内部損傷と「補修済_不良音」との関係

- 「補修済_不良音」で「Aランク」と判定⇒約7割が「内部損傷」あり
- 「補修済_不良音」と判定(A、B、Cランク)⇒約5割で「内部損傷」あり
- 「内部損傷」あり⇒約5割で「補修済_不良音」あり

単位：パネル数

発生数		補修済_不良音				計	外観変状 発生率
		A	B	C	なし		
内部損傷	あり	8	1	10	16	35	0.5429
	なし	3	2	11	31	47	0.3404
計		11	3	21	47	82	0.4268
内部損傷あり判定率		0.7273	0.3333	0.4762	0.3404		



- ① 内部損傷と「補修済_不良音」との間に関連あり
- ② 不良音の面積率が高いほど(判定ランクが悪いほど)内部損傷との関連が高い

内部損傷と「補修済_さび発生」との関係

- 「補修済_さび発生」あり⇒約2割弱で内部損傷あり
- 「内部損傷」あり⇒約2割で「補修済_さび発生」あり

単位：パネル数

発生数		補修済_さび発生				計	外観変状発生率
		A	B	C	なし		
内部損傷	あり	0	1	6	28	35	0.2000
	なし	2	4	27	14	47	0.7021
計		2	5	33	42	82	0.4878
内部損傷あり判定率		0.0000	0.2000	0.1818	0.6667		



- ① 「補修済_さび発生」と内部損傷との間にわずかに関連がある

内部損傷と「補修済_漏水・遊離石灰」との関係

- 内部損傷との関連はみられない

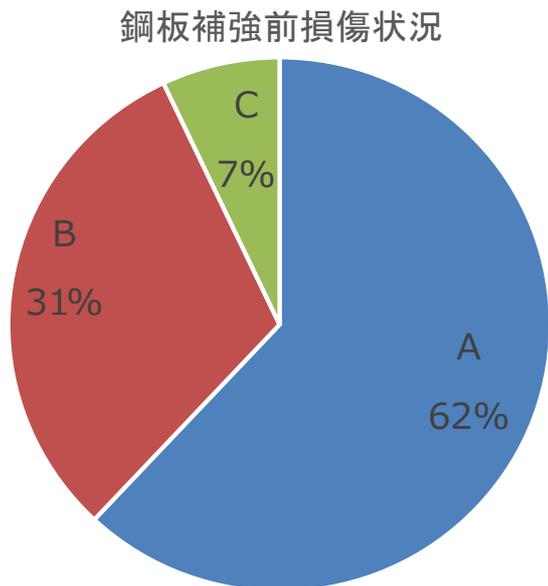
単位：パネル数

発生数		補修済_漏水・遊離石灰				計	外観変状 発生率
		A	B	C	なし		
内部損傷	あり	0	1	0	34	35	0.0286
	なし	1	2	0	44	47	0.0638
計		1	3	0	78	82	0.0488
内部損傷あり判定率		0.0000	0.3333	—	0.4359		

鋼板補強前の損傷状況と外観変状との関係

- 対象とした床版パネルのうち、補強前に損傷の調査が実施されていたものについては、全てのパネルで補強前に損傷があり、6割がAランク判定
- 「補修済_不良音」と補強前の損傷を比較すると、補強前の損傷71パネルに対して、補修後不良音が発生していたのは30パネル(4割)であった
- 「補修済_さび発生」と補強前の損傷を比較すると、補強前の損傷71パネルに対して、補強後さびが発生していたのは37パネル(5割)であった

補修前損傷状況



不良音と補修前損傷の状況

		補修済_不良音				総計
		A	B	C	なし	
補修前損傷	A	9	1	12	22	44
	B		1	7	14	22
	C				5	5
	総計	9	2	19	41	71

さびと補修前損傷の状況

		補修済_さび発生				総計
		A	B	C	(空白)	
補修前損傷	A		1	21	22	44
	B		3	12	7	22
	C				5	5
	総計	0	4	33	34	71

損傷要因の検討

- 不良音の判定ランクが高いほど、内部損傷の発生割合が高い
- わずかに内部損傷と鋼板のさびに関連がみられる
- 全ての床版パネルで補強前に損傷あり(約6割がAランク、約3割がBランク、約1割がCランク)



補強前に既に内部損傷が生じていた可能性がある
鋼板のさびがあることから、床版内部に水が浸透した可能性がある

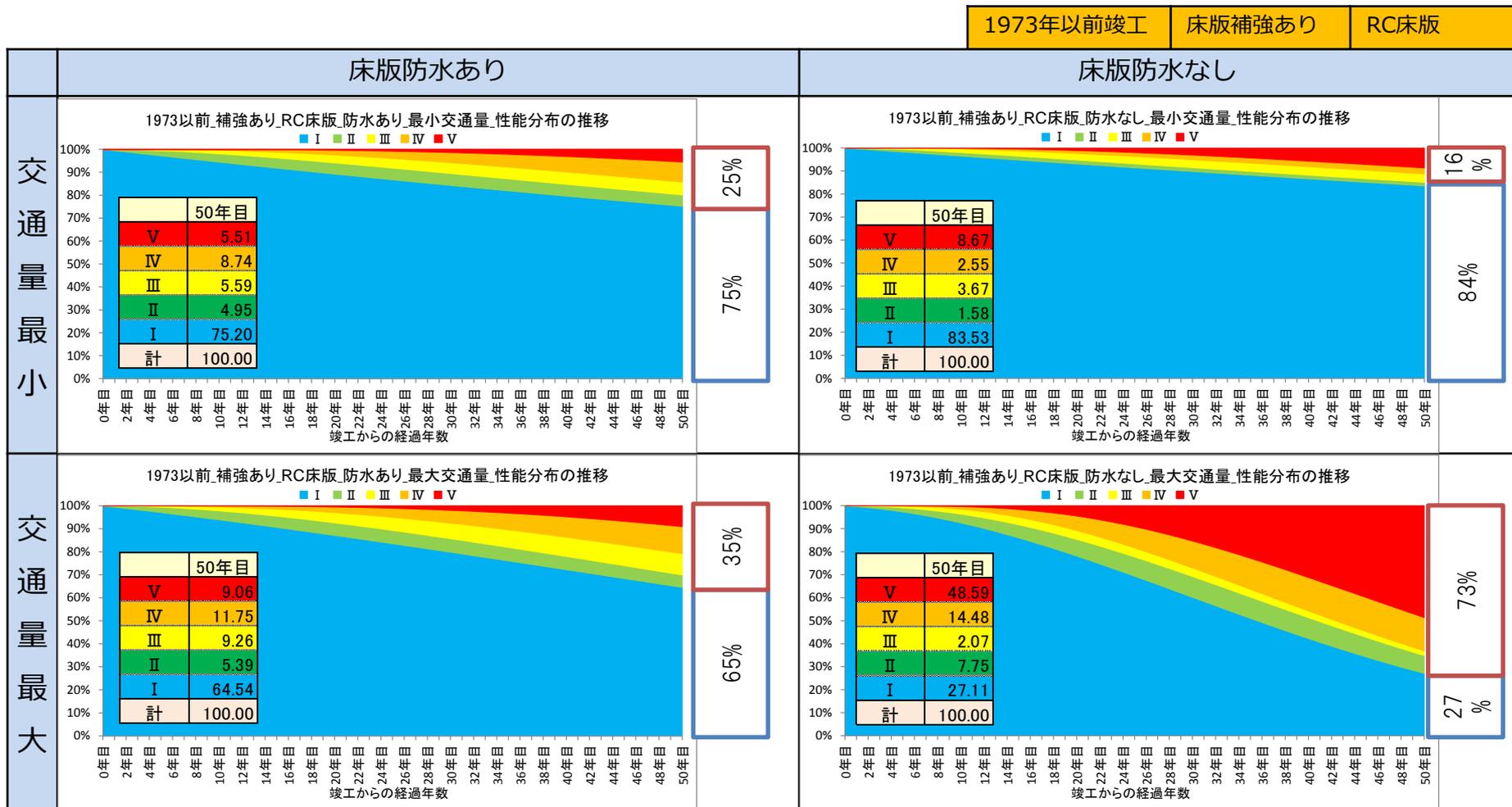


- 水などの影響により鋼板の接着作用が早期に喪失している可能性
- 水の影響により疲労損傷が促進され、床版のたわみが増加したために不良音が発生している可能性

③劣化予測モデルの改良

過年度の課題

① 交通量最小ケースで防水の効果不明確⇒劣化予測用データ作成方法に問題点

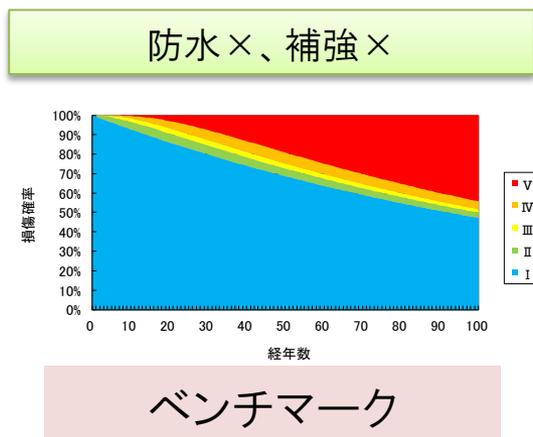


性能ⅡからⅤの割合

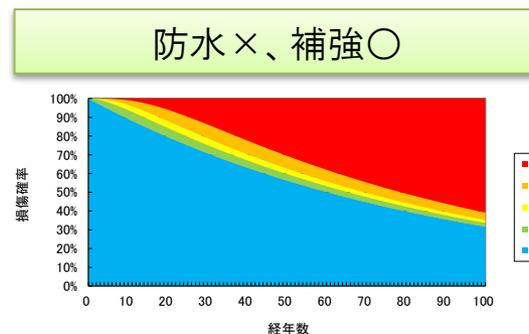
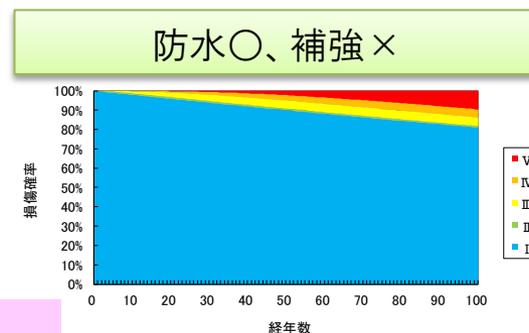
性能Ⅰ(Aランク以上損傷なし)の割合

課題を克服するための劣化モデルの考え方

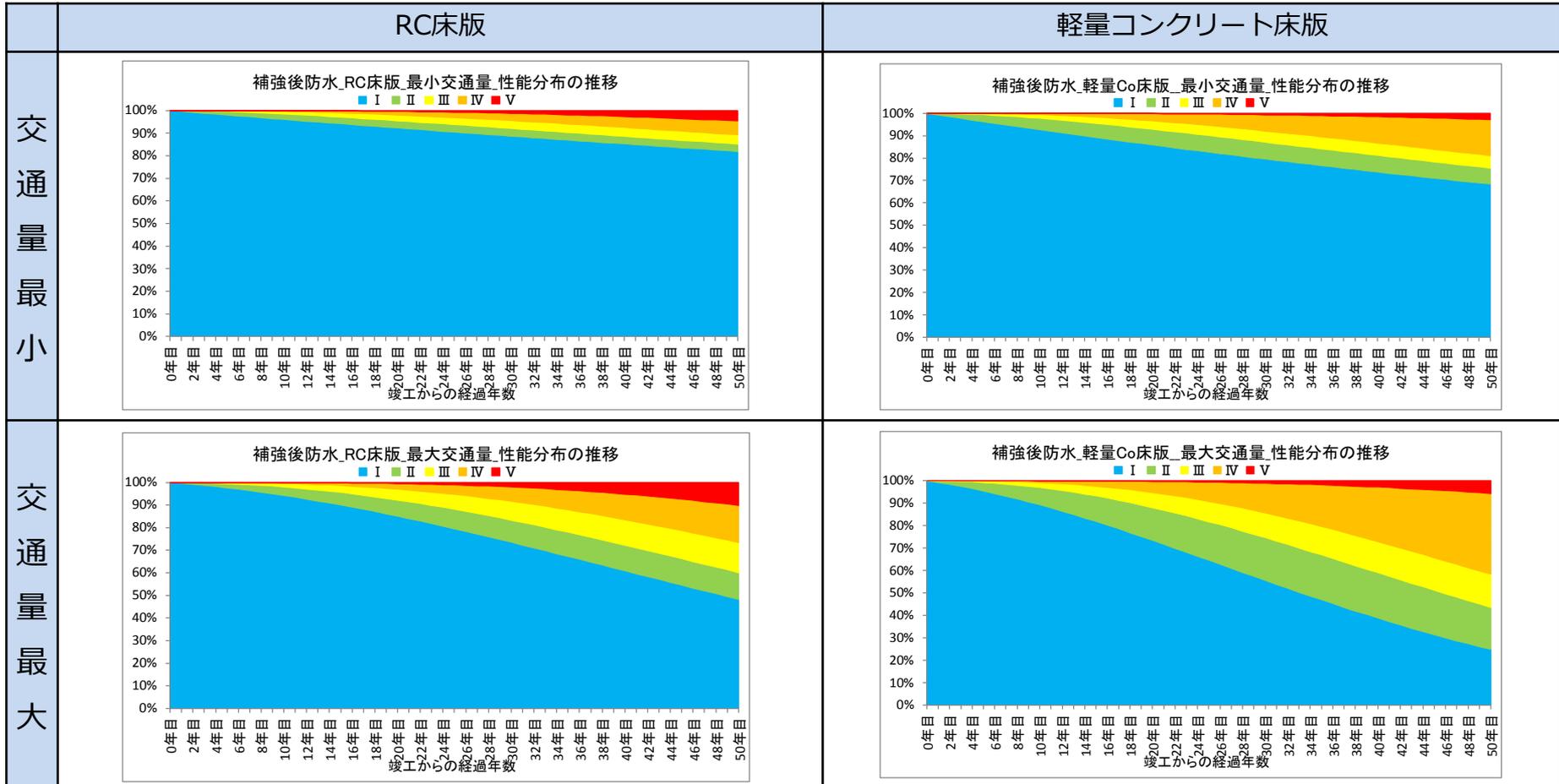
- ① 防水なし、かつ補強なし床版をベンチマークとする
- ② 「防水時期と鋼板補強時期の差による分析」結果を踏まえ、劣化要因を設定する
- ③ 劣化要因毎の劣化モデルと、ベンチマークとの劣化速度の比を計算し、劣化要因による劣化促進割合を導出する
- ④ 劣化要因の組み合わせによって、ベンチマークに劣化促進割合を乗じ、劣化要因を考慮した劣化モデルとする



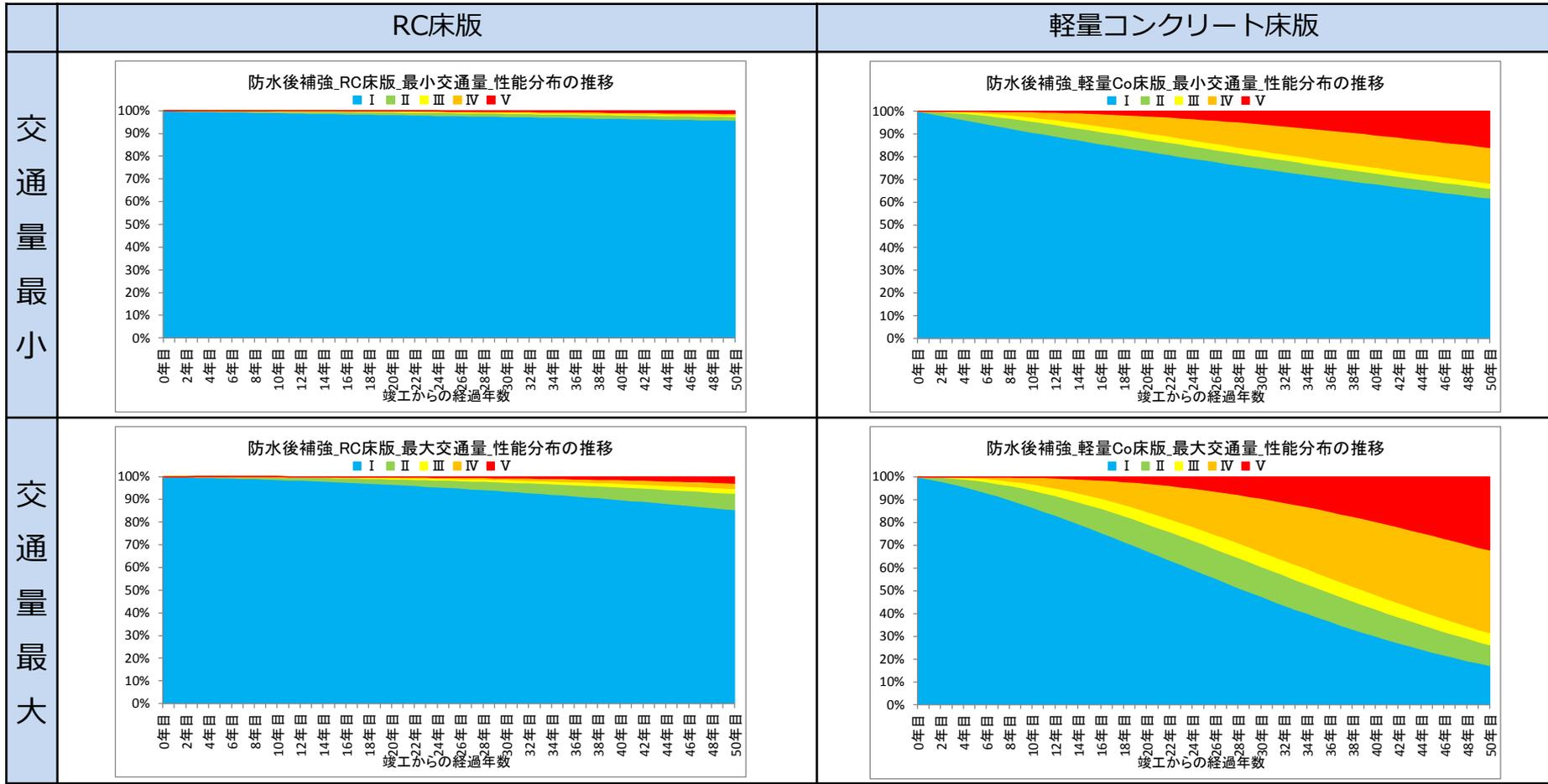
$$\gamma_k = \theta_k / \theta_b$$



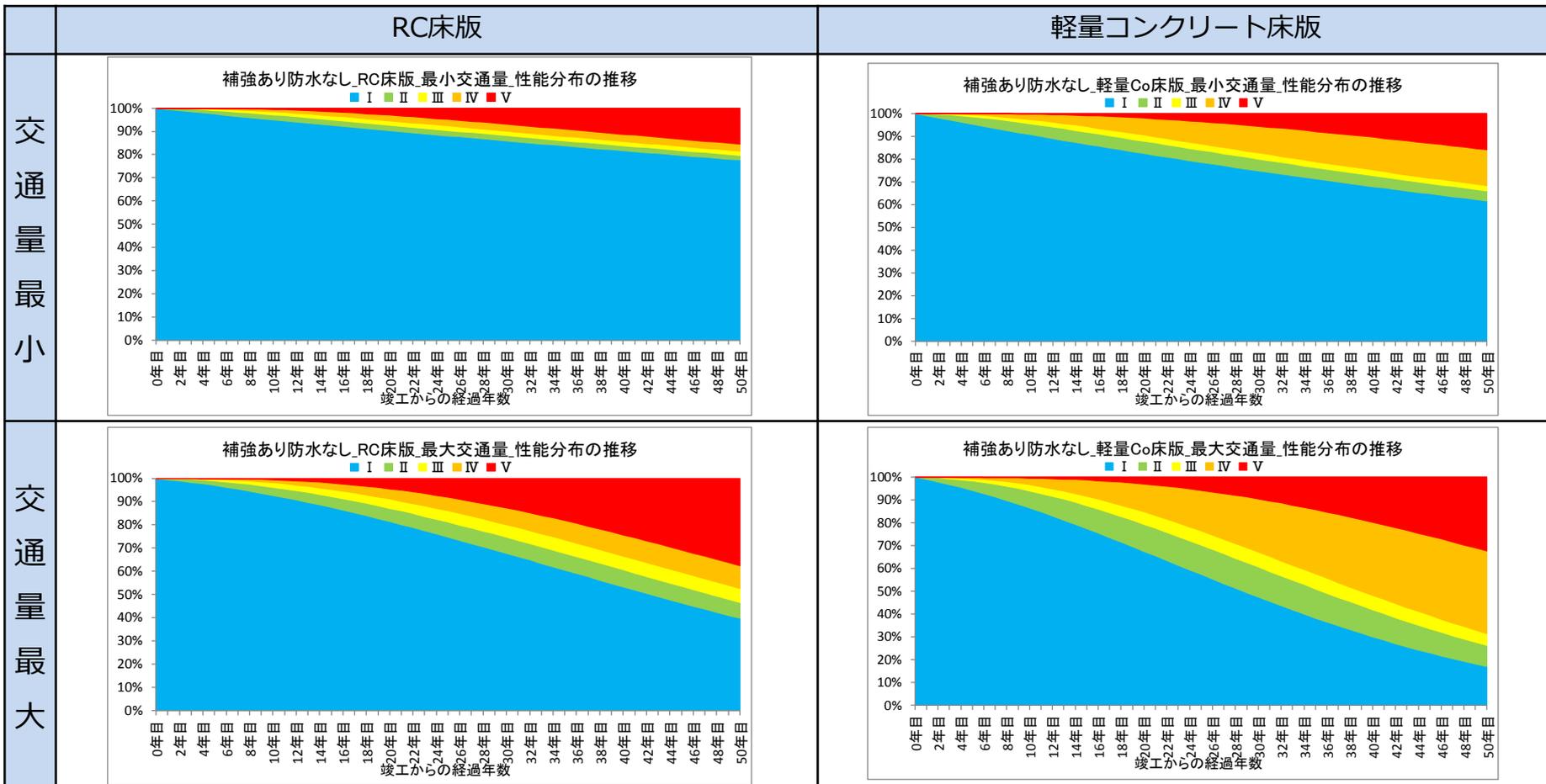
劣化予測結果 ～補強後防水～



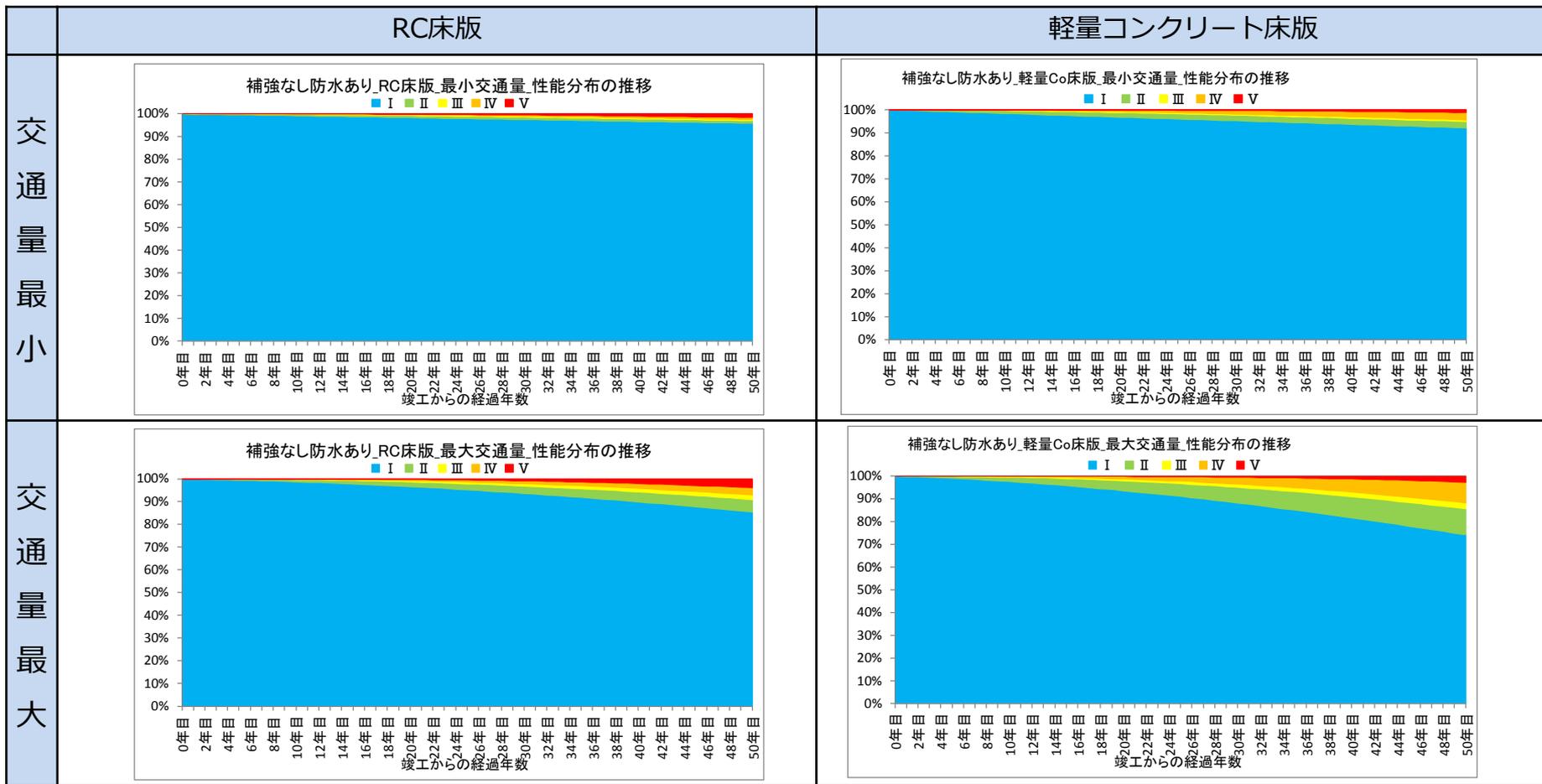
劣化予測結果 ～防水後補強～



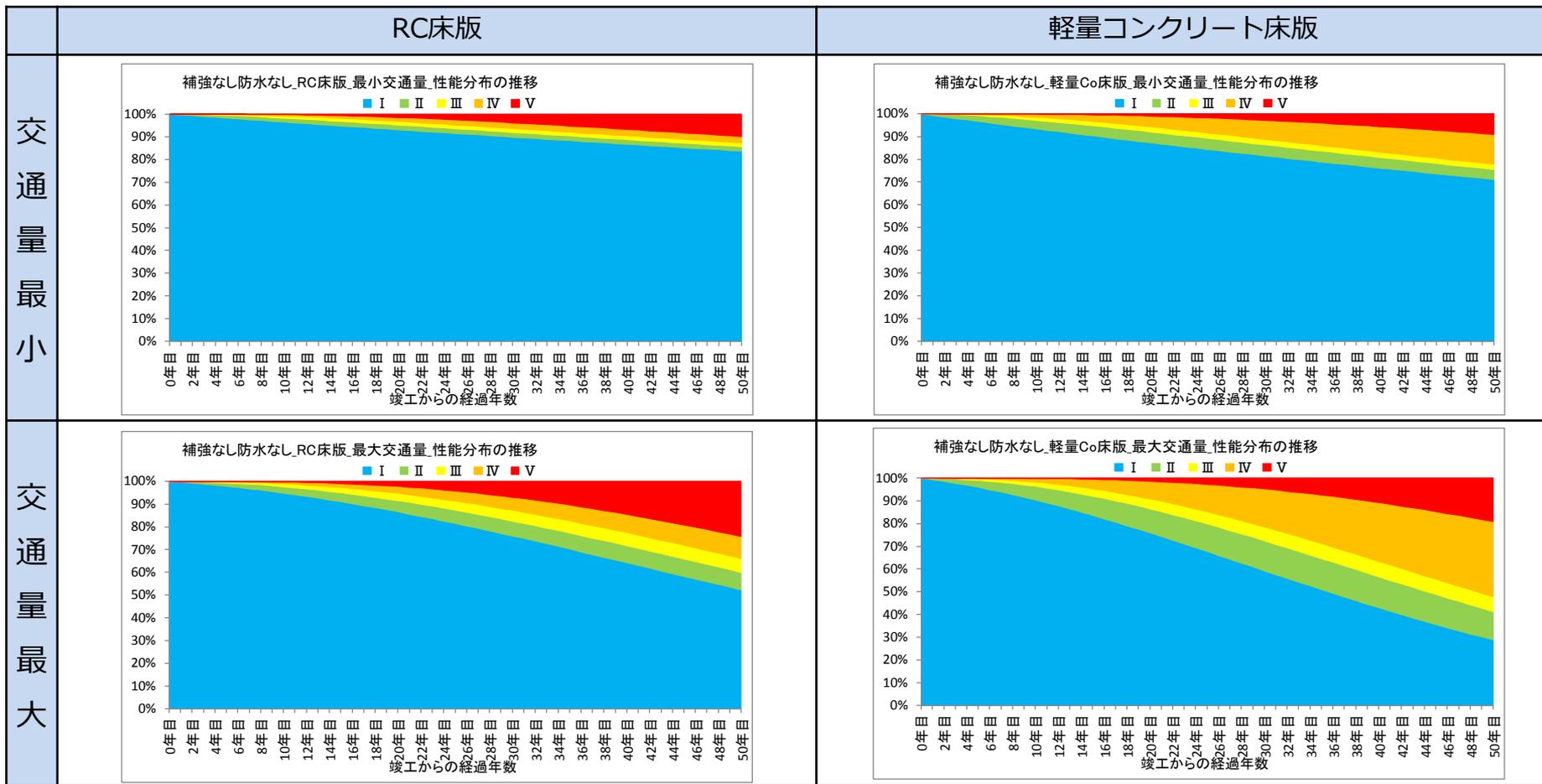
劣化予測結果 ～補強のみ～



劣化予測結果 ～防水のみ～



劣化予測結果 ～補強も防水もなし～



考察

- 補修済床版について、防水時期の違いによる劣化の違いは、先に検討した結果と同じ



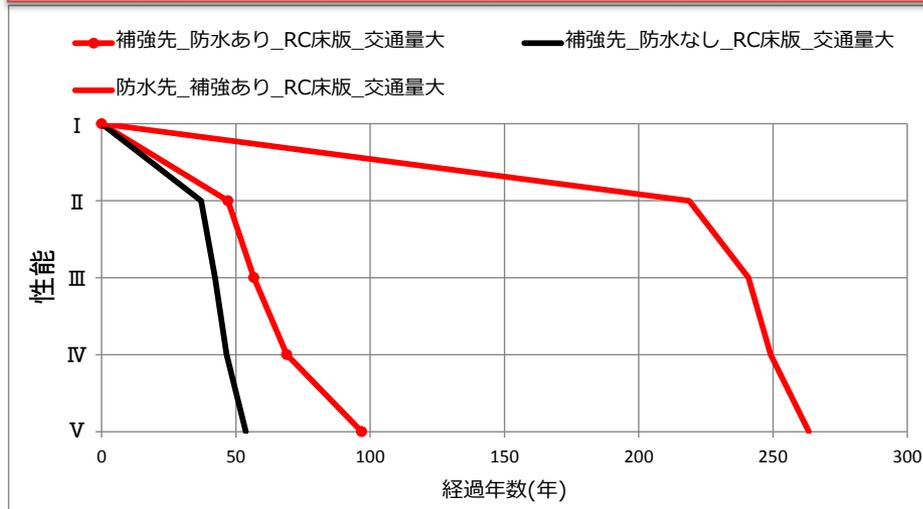
改良劣化モデルは防水の効果을適切に表現

- 補強のみの場合の劣化が一番早い

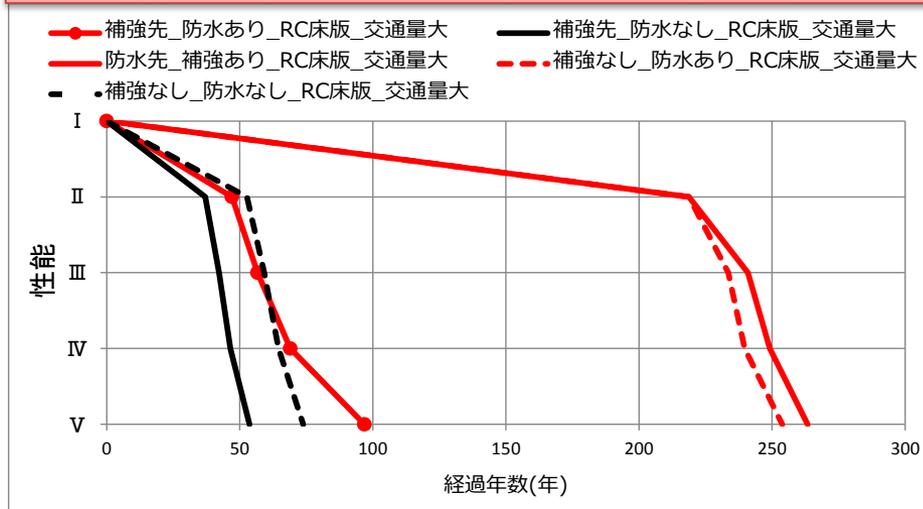


補強前に損傷が発生している可能性が高く、補強前に劣化している状況を反映していると考えられる

補修済床版 防水時期による違いの例



補強の有無、防水の有無による違いの例



④点検方法へのフィードバック

大規模修繕の判断にあたり

防水時期と鋼板補強時期の差による分析

- ① 床版防水の効果を期待できる
- ② 防水よりも先に鋼板補強をした場合、水などの影響で鋼板の接着作用が喪失する可能性
- ③ 水の影響で疲労損傷が促進され、床版のたわみが増加し不良音が生じる可能性

点検結果と詳細調査結果との関連分析

- ① 補修済床版の不良音の面積が大きいと内部に損傷が発生している可能性
- ② 外観変状が現れていなくても、床版内部で滞水の可能性



机上調査における留意事項

- ① 床版防水よりも鋼板補強が先行した径間、床版防水のない径間は損傷進行が疑われるため、要注意箇所として抽出可能

点検時における留意事項

- ① 補修済床版の不良音面積をできるだけ正確に把握
- ② 補修済床版の不良音面積が大きいパネルは内部損傷が疑われる
- ③ 不良音やさび等が認められる場合、内部損傷の進行が疑われる