

委員会報告 「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」

宮川豊章*1・榊田佳寛*2・野口貴文*3・出村克宣*4・守分敦郎*5・濱田秀則*6

委員長	宮川豊章	京都大学大学院	委員	佐伯竜彦	新潟大学工学部
副委員長	榊田佳寛	宇都宮大学工学部		坂井悦郎	東京工業大学大学院
代表幹事	濱田秀則	港湾空港技術研究所		佐藤文則	前田建設工業(株)
幹事	出村克宣	日本大学工学部		添田政司	福岡大学工学部
	野口貴文	東京大学大学院		田中 斉	飛島建設(株)
	守分敦郎	東亜建設工業(株)		鳥居和之	金沢大学工学部
	上田隆雄	徳島大学工学部		永山 勝	(財)日本建築総合試験所
委員	市坪 誠	呉工業高等専門学校		西崎 到	建設省土木研究所
	伊藤 洋	(株)熊谷組		服部篤史	京都大学大学院
	太田達見	清水建設(株)		丸屋 剛	大成建設(株) (～H 12. 3)
	笠井 浩	鹿島建設(株)		武田 均	大成建設(株) (H 12. 4～)
	桂 修	寒地住宅都市研究所		吉田 敦	日本道路公団試験研究所
	河合研至	広島大学工学部		若杉三紀夫	ショーボンド建設(株)
	橘高義典	東京都立大学大学院	通信委員	武若耕司	アジア工科大学
	木下 勲	日本下水道事業団	元幹事	大賀宏行	元東京都立大学大学院 (～H 11. 3)

1. 設立の背景および目的

コンクリート構造物の劣化現象解明に関する研究は、ここ20年の間に大きく進み、個々の劣化現象については、ある程度の状況把握と基本的な対策の提示ができるまでに至っている。しかし、その一方で、コンクリート用材料の多様化やコンクリート構造物の適用環境の大幅な拡大によって、今日では、構造物に生じている劣化の原因を一つに特定できない状況が多くなりつつある。いわゆる複合劣化と呼ばれるこのような現象が工学上複雑なのは、劣化の組み合わせが多様であるとともに、各劣化現象の相互作用によって、単独で生じた場合と異なる劣化

形態を示すことがあり、劣化が単独で生じた場合を足し合わせたような単純なモデルでその劣化評価を行うことができないことである。

一方、現在まさに我が国は構造改革のまった中であり、建設分野における構造物の考え方も20世紀の「造ってまかなう」建設主体から、21世紀には「守ってまかなう」維持管理主体へと大きく移行していくことは今や疑う余地はない。このような状況においては、構造物に対してより精度の高い耐久性の評価が望まれることになる。例えば、新設構造物の設計にあたっては、ライフサイクルを考慮して構造物のシナリオをデザインし、長期性能を照査することが極

*1	京都大学大学院教授	工学研究科	工博	(正会員)
*2	宇都宮大学教授	工学部建築学科	工博	(正会員)
*3	東京大学大学院助教授	工学系研究科	工博	(正会員)
*4	日本大学教授	工学部建築学科	工博	(正会員)
*5	東亜建設工業株式会社	技術研究所	工博	(正会員)
*6	港湾空港技術研究所	材料研究室	工博	(正会員)

めて重要となり、これを確立するためには、上述の複合劣化問題は避けて通れない大きな問題となる。また、既存構造物における維持管理計画の観点からも、複合劣化問題は早急に取り組むべき重要な課題である。劣化の生じている構造物に対して確実な対策を施すためには、劣化現象を的確に把握し、より正確な劣化評価を行い、適材適所の工法および材料を選定することが最も重要である。

以上のことから、本委員会は、各種の複合劣化メカニズムを解明して、劣化の定量化を図るとともに、この問題に対する維持管理の在り方について検討を行うことを目的としている。なお、本委員会は、平成8年度～9年度にかけて組織された「コンクリート構造物のリハビリテーション研究委員会」¹⁾の後を受けて設立されたものであり、両委員会の成果は相互に補い合うものであることをここに明記しておく。

2. 委員会の構成

本研究委員会では以下に示す4部会を設け、各部会ごとに活動を行ってきた。

(1) 複合劣化評価部会

各種の複合劣化機構とその劣化現象が構造物に及ぼす影響に関する検討を実施する。

(2) メンテナンス対策部会

複合劣化を受けている構造物に対する補修・補強工法、補修・補強材料の選択システムに関する検討を実施する。

(3) 撤去桁暴露試験実施部会

実構造物から撤去されたPC桁、およびPC枕木に対して各種の補修を実施し、その暴露試験を実施する。

(4) ガイドライン作成部会

「複合劣化構造物の補修・補強ガイドライン(案)」を作成する。

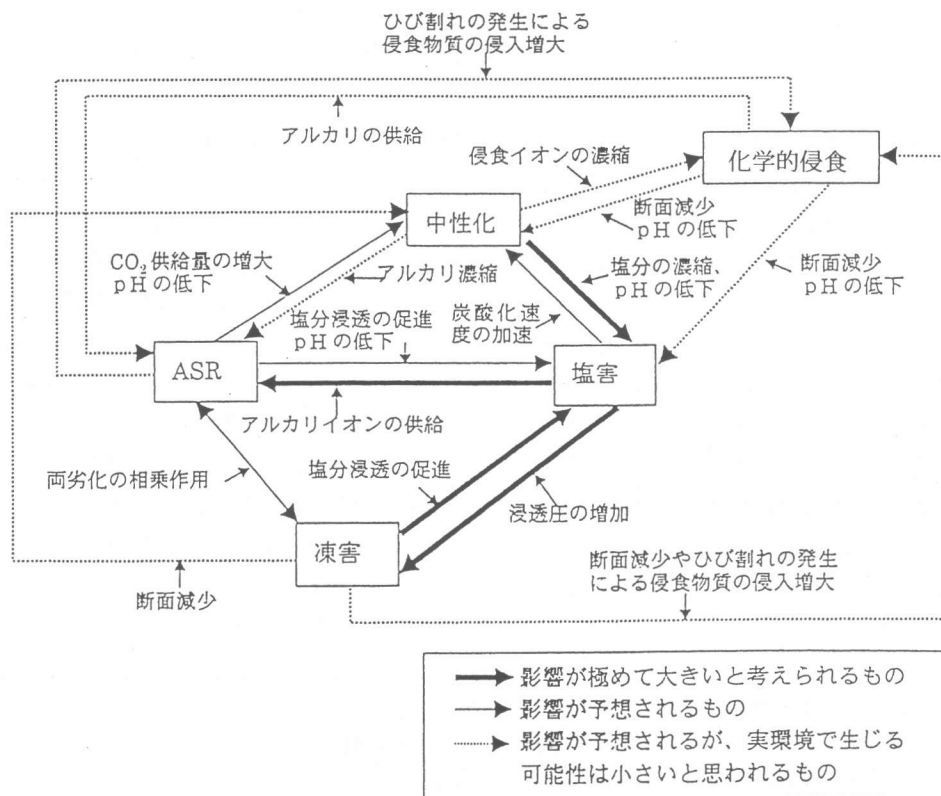


図-1 本委員会において検討を行った複合劣化の相関図

3. 複合劣化評価部会の活動について

3.1 活動概要

本部会においては、まず複合劣化として考え得る機構、ならびに複合劣化の発生による構造物の性能低下についての議論を行った。図-1は現時点で考え得る複合劣化の相関図である。図中の、例えば「塩害」について見てみると、「中性化」「ASR（アルカリ骨材反応）」「凍害」「化学的侵食」のいずれとも影響を及ぼし合うことが想定される。しかし、その影響の程度は少しずつ異なってくるものと考えられる。本図を基本にして、複合劣化として考え得る機構についての検討を行った。

一方、複合劣化を、1) 独立的複合劣化、2) 相乗的複合劣化、3) 因果的複合劣化、の3種

類の形態に分類し、整理を行った。

独立的複合劣化とは、劣化作用は同時に生じますが、劣化作用間に相乗効果は生じず、劣化症状の進行速度も単独劣化の場合と同程度であるような複合劣化を意味する。相乗的複合劣化とは、劣化作用同士の相乗効果または劣化過程における相乗効果によって、劣化過程または劣化症状の進行速度が単独劣化の場合よりも加速されるような複合劣化である。因果的複合劣化とは、一方の劣化過程における現象が他方の劣化作用を実効的にするような複合劣化、一方の劣化症状が現れた結果として他方の劣化作用が生じてしまうような複合劣化、または一方の劣化症状が現れた結果として他方の劣化過程における現象を加速してしまうような複合劣化である。

表-1 中性化が関係する複合劣化

現象	複合作用	必要条件	劣化過程・機構	劣化形態	分類	可能性	レベル
①	塩害 凍害 ASR 化学的侵食	高炉スラグ微粉末の使用	空隙構造の多孔化	物質移動抵抗性の低下	c	△	4
②	塩害 凍害 ASR 化学的侵食	中性化の先行	鉄筋の腐食によるひび割れ	物質移動抵抗性の低下	c	○	1 ～ 2
③	塩害	塩化物イオンの存在(海砂の使用など)	塩化物イオンの遊離・濃縮	腐食の促進	c	◎	1 ～ 2
		中性化の先行	固定化能力の低下	塩分浸透の促進	c	△	2
④	塩害 凍害 ASR 化学的侵食	中性化の先行	炭酸カルシウム生成による空隙構造の緻密化	物質移動抵抗性の向上(劣化の抑制)	c	○	2
A	溶出 化学的侵食	湿潤状態	水和物 (Ca(OH) ₂) の溶出, pH の低下	中性化の促進	c	△	4
B	凍害 ASR 塩害	湿潤状態	鉄筋の腐食によるひび割れ	物質移動抵抗性の低下	c	△	1 ～ 2
C	塩害	塩化物イオンの存在(海砂の使用など)	細孔溶液の組成変化	中性化の促進	b	○	2

※①～④は他の劣化への影響、現象A～Cは他の劣化からの影響

分類	可能性	レベル
a : 独立的複合劣化	◎ : 大	1 : モデルがあつて計算できる
b : 相乗的複合劣化	○ : 中	2 : メカニズムが解明(提案)されている
c : 因果的複合劣化	△ : 小	3 : 実現象が確認されている
		4 : 現象が実験室レベルで確認されている

因果的複合劣化の場合には、一方の劣化作用が先行し、他方の劣化作用が時間差をおいて働き始めるのが通常であり、劣化症状も時間差をおいて現れる。

本部会の議論の中では、図-1に示す複合劣化について、上記の3つの分類を適用し整理を行った。

3. 2 得られた成果の一例

—中性化が関係する複合劣化—

ここでは、種々検討を行った中で、中性化を主要因として検討した結果について述べる。

中性化は、大気中の二酸化炭素がコンクリート内に侵入し炭酸化反応を起こすことによって細孔溶液のpHが低下する現象である。これにより、コンクリート内部の鋼材に腐食の可能性がある。また中性化は、水和物の変質と細孔構造の変化を伴うため、鋼材の腐食だけでなくコンクリートの強度変化などを引き起こす可能性もある。

中性化の進行速度に影響を及ぼすコンクリートの性質は、二酸化炭素の移動速度に関する項目と細孔溶液のpH保持能力に関する項目の2つに集約される。環境条件も間接的にこれらに影響することによって、中性化進行速度を左右していると言ってよい。したがって、他の劣化現象が中性化に及ぼす影響もこの2点に着目すれば良いことになる。具体的には、ひび割れを含む硬化体組織構造の変化(損傷)による物質移動性の変化や細孔溶液のイオン組成や水酸化カルシウム等の水和生成物の変化が影響する。表-1は、中性化が関係する複合劣化の内容をまとめたものである。

特に、中性化と塩害の複合劣化が鉄筋コンクリート部材の耐荷性能に及ぼす影響については以下のような考察を行った。

塩害および中性化による劣化現象は、鉄筋が腐食する際に塩化物イオンが介在するかどうかの違いであり、基本的にはいずれの劣化現象も鉄筋の腐食に起因した劣化形態を示す。したがって、塩害と中性化による複合劣化現象は、中

性化によるコンクリート強度の変化も考えられるが基本的には単独劣化に比べて鉄筋の腐食速度が加速される現象として整理できる。これにより単独劣化に比べて早期に鉄筋の腐食膨張圧によるひび割れやかぶりコンクリート部の剥落といった現象が予想され、耐荷性能も鉄筋の腐食量とひび割れによるコンクリートの有効断面の減少により低下していくものと考えられる。

図-2は、塩害と中性化との複合劣化による構

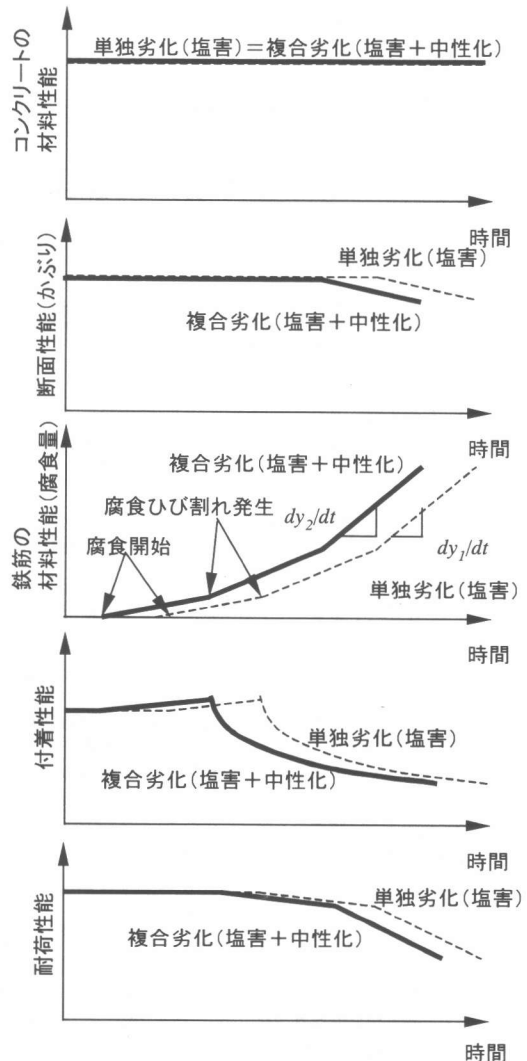


図-2 耐荷性能低下の概念図

造物の耐荷性能の変化を鉄筋の腐食量で概念的に整理したものである。先にも示したとおり複合劣化形態は、鉄筋の腐食に起因したものに帰着すると考えられる。したがって、耐荷性能は、複合作用による鉄筋の腐食速度変化に応じて整理でき、塩害による単独劣化における性能の変化を時間軸上で劣化促進方向にシフトしたと考えることができる。

腐食量に伴う残存耐荷率 $\beta(y)$ を、腐食に伴う鉄筋の降伏強度の低下やヤング係数の低下などを考慮することにより、鉄筋の腐食量との関係として、以下の式のように取り扱うことが可能となる。

$$P = \beta(y) \cdot P_{ini} \quad 0 \leq \beta(y) \leq 1$$

ここに、 P_{ini} : 健全時の耐荷力 (初期性能)

P : 複合劣化作用を受けた場合の耐荷力

$\beta(y)$: 腐食量に伴う残存耐荷率

4. メンテナンス対策部会の活動について

4.1 活動の概要

本部会においては、複合劣化により劣化が進

行している構造物に適用する補修・補強の考え方の基本を確立すると同時に、補修・補強工法の選定の考え方、補修・補強材料の選定の考え方に関する検討を実施した。

昨今、補修工法、補修材料、補強工法、補強材料については多くの種類が開発・実用化されている。しかし、どのような劣化現象・劣化程度に対して、どのような材料を用いればよいのか、そしてその結果得られる補修・補強効果はどの程度あるのか、といった基本的かつ重要な課題は残されたままである。本部会の議論は、このような課題に対して論理的に妥当と思われる考え方を導き出すことを目的としている。なお、本部会で検討対象とした補修工法は、(1) ひび割れ補修工法、(2) 表面処理工法、(3) 断面修復工法、(4) 電気防食工法、(5) 脱塩・再アルカリ化工法、(6) 鋼板・FRP 接着・膨張拘束工法、(7) 打換え・増厚、である。

4.2 得られた成果の一例

— 中性化と塩害の複合劣化に関して —
検討の結果得られた成果として、中性化と塩害の複合劣化に対する補修工法の選定の考え方を

表-2 中性化と塩害の複合劣化による構造物の性能低下の一例

劣化過程	安全性能		使用性能		第三者影響度 美観・景観		劣化過程
	中性化	塩害	中性化	塩害	中性化	塩害	
潜伏期前期 (I-1)	-	-	-	-	-	-	I-1
潜伏期後期 (I-2)							I-2
進展期 (II)							II
加速期前期 (III-1)	-	-	-	-	-	-	III-1
加速期後期 (III-2)							III-2
劣化期 (IV)	耐荷力・じん性の低下 ・鋼材断面積の減少 ・浮き・はく離によるコンクリート断面の減少	耐荷力・じん性の低下 ・鋼材断面積の減少 ・破断 ・浮き・はく離によるコンクリート断面の減少	剛性低下 (変形の増大・振動の発生) 鋼材断面積の減少 鋼材とコンクリートの付着力の低下 浮き・はく離によるコンクリート断面の減少	剛性低下 (変形の増大・振動の発生) 鋼材断面積の減少 鋼材とコンクリートの付着力の低下 浮き・はく離によるコンクリート断面の減少	美観の低下 ・スケーリング、ポップアウト ・ひび割れ 第三者への影響 ・はく離 ・はく落	美観の低下 ・ひび割れ ・錆汁 ・鋼材の露出 第三者への影響 ・はく離 ・はく落	IV

表-3 中性化と塩害の複合劣化に対する標準的な補修工法の選定

劣化の組合せ 目的	中性化の劣化過程												III				IV			
	0 (塩害単独)				I				II				III				IV			
	I	II	III	IV	0	I	II	III	IV	0	I	II	III	IV	0	I	II	III	IV	
劣化要因の遮断	◎	◎			◎	◎	◎			◎	◎	◎								
劣化速度の抑制	◎	◎			◎	◎	◎			◎	◎	◎								
劣化因子の除去および鋼材腐食の大幅な抑制	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎
耐荷力・変形性能の改善																				

劣化の組合せ 目的	I												II				III				IV			
	0 (塩害単独)				I				II				III				IV							
	I	II	III	IV	0	I	II	III	IV	0	I	II	III	IV	0	I	II	III	IV					
劣化要因の遮断	◎	◎			◎	◎	◎			◎	◎	◎												
劣化速度の抑制	◎	◎			◎	◎	◎			◎	◎	◎												
劣化因子の除去および鋼材腐食の大幅な抑制	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎				
耐荷力・変形性能の改善																								

劣化の組合せ 目的	I												II				III				IV			
	0 (塩害単独)				I				II				III				IV							
	I	II	III	IV	0	I	II	III	IV	0	I	II	III	IV	0	I	II	III	IV					
劣化要因の遮断	◎	◎			◎	◎	◎			◎	◎	◎												
劣化速度の抑制	◎	◎			◎	◎	◎			◎	◎	◎												
劣化因子の除去および鋼材腐食の大幅な抑制	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎				
耐荷力・変形性能の改善																								

劣化の組合せ 目的	I												II				III				IV			
	0 (塩害単独)				I				II				III				IV							
	I	II	III	IV	0	I	II	III	IV	0	I	II	III	IV	0	I	II	III	IV					
劣化要因の遮断	◎	◎			◎	◎	◎			◎	◎	◎												
劣化速度の抑制	◎	◎			◎	◎	◎			◎	◎	◎												
劣化因子の除去および鋼材腐食の大幅な抑制	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎				
耐荷力・変形性能の改善																								

劣化の組合せ 目的	I												II				III				IV			
	0 (塩害単独)				I				II				III				IV							
	I	II	III	IV	0	I	II	III	IV	0	I	II	III	IV	0	I	II	III	IV					
劣化要因の遮断	◎	◎			◎	◎	◎			◎	◎	◎												
劣化速度の抑制	◎	◎			◎	◎	◎			◎	◎	◎												
劣化因子の除去および鋼材腐食の大幅な抑制	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎				
耐荷力・変形性能の改善																								

劣化の組合せ 目的	I												II				III				IV			
	0 (塩害単独)				I				II				III				IV							
	I	II	III	IV	0	I	II	III	IV	0	I	II	III	IV	0	I	II	III	IV					
劣化要因の遮断	◎	◎			◎	◎	◎			◎	◎	◎												
劣化速度の抑制	◎	◎			◎	◎	◎			◎	◎	◎												
劣化因子の除去および鋼材腐食の大幅な抑制	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎				
耐荷力・変形性能の改善																								

劣化の組合せ 目的	I												II				III				IV			
	0 (塩害単独)				I				II				III				IV							
	I	II	III	IV	0	I	II	III	IV	0	I	II	III	IV	0	I	II	III	IV					
劣化要因の遮断	◎	◎			◎	◎	◎			◎	◎	◎												
劣化速度の抑制	◎	◎			◎	◎	◎			◎	◎	◎												
劣化因子の除去および鋼材腐食の大幅な抑制	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎				
耐荷力・変形性能の改善																								

(注1) ◎：主工法として適用可能な工法 ○：劣化状況に応じて主工法として適用可能な工法
 (注2) 工法選定に当たっては、「主要な劣化機構」と「複合される劣化機構」を分類し、「主要な劣化機構」の劣化過程は、複合劣化によって構造物に現れた劣化現象などから設定する。

以下に示す。

中性化と塩害によるコンクリート構造物の性能低下の一例を表-2に示す²⁾。中性化、塩害ともに各劣化過程における使用性能、第三者影響度、美観・景観の低下はほぼ同様と言える。しかし、安全性能において、中性化は劣化期の段階で耐荷力・じん性の低下が現れるのに対し、塩害はそれより早く、加速期後期の段階でこれらの低下が現れる。これは、中性化の進行速度に比べ、塩害の進行過程において加速期以降の性能低下が急速に進むことから、孔食を含む鋼材断面の減少、コンクリートの浮き、はく離が早期に現れるためであり、塩害を生じた構造物の方がより深刻と考えて良い。よって、中性化と塩害による複合劣化による補修工法を考える場合、塩害対策に十分留意する必要がある。

中性化と塩害による複合劣化により性能低下した構造物に対する補修・補強は、期待する効果や劣化程度に応じて表-3に示される工法から選定するとよい。この表は、2つの劣化機構とそれぞれの劣化過程の組合せによって補修工法が示されている。工法を選定する場合には、点検結果などより、いずれの劣化機構が卓越しているか検討する。たとえば、中性化と塩害の複合劣化が確認された場合で「主要な劣化機構」が塩害と判定された場合、構造物に見られる劣化現象は塩害が中性化によって促進された結果と考え、構造物の外観上の劣化状態などから塩害の劣化過程を設定する。一方、塩害を促進したと考えられる中性化については、中性化深さなどの点検結果から劣化過程を判定する。これらの劣化過程を先の表に当てはめ、塩害と中性化の複合劣化を受けた構造物に対する補修工法を選定することができる。なお、「主要な劣化機構」とは、「劣化の進行程度が大きい」あるいは「構造物の性能に及ぼす影響が大きい」劣化機構である。それぞれの劣化機構が同程度であれば、いずれの劣化機構も同等と考えて検討することになる。

5. 撤去桁暴露試験実施部会の活動について

5.1 活動の概要

本部会においては、既存構造物から撤去されたPC桁およびPC枕木を用いて、各種補修工法の実証暴露試験を実施した。使用しているPC桁は、日本海沿岸より70mほどに位置する道路橋で使用されていたものである。1972年に竣工し、1997年に撤去されたものである。PC桁に対して、脱塩工法、電気防食工法、断面修復工法による補修を実施し、気候条件が大きく異なる、千葉県袖ヶ浦市および新潟県青海町の2箇所において暴露を実施した。一定期間の暴露を経た後に、各種工法の性能評価を実施した。一方、PC枕木にはアルカリ骨材反応によりひび割れが生じ、そのひび割れを介して塩害が進行していた。このPC枕木に対して電気防食、脱塩・再アルカリ化と防錆剤を用いた断面修復工法を適用した。補修適用後の枕木の状態を継続的に観察することにより、各補修工法の補修効果の評価を行った。なお、PC桁に関する試験の一部は既に報告している³⁾。

5.2 得られた成果

上述した実験から得られた成果を以下に示す。

(1) PC桁を用いた実験のまとめ

a) 電気防食工法の効果

①24時間復極量は温度依存性を示し、気温の低い方が復極量が大きくなる傾向であった。気温低下による腐食反応の低下が顕著になったことがその原因と推測された。一方、分極抵抗は、通電後数ヶ月間は初期より低下する傾向が認められたが、その後は増加に転じた。

②桁の隅角部に配置されたPC鋼線には多くの電流が流れ、内部のPC鋼線に供給される電流は表面付近に位置するPC鋼線の場合に比較して50%程度にまで低下する傾向であった。

b) 脱塩工法の効果

①2ヶ月間脱塩工法を適用することにより、処理前の塩化物イオン量の60~70%を除去することができた。

②脱塩処理後の電位は、顕著な改善効果（貴

側にシフト)が認められた。これは、塩化物イオンが除去されたことが影響したものと考えられる。

c) 各種防錆剤を用いた断面修復工法の効果

①いずれの材料においても、自然電位は修復後初期には卑側にシフトしたが、その後徐々に貴側にシフトする傾向が確認された。この傾向は、分極抵抗においても同様であった。

(2) PC枕木を用いた実験のまとめ

①電気防食工法について、通電電流量を標準、5倍、10倍の3種を実施したが、施工18箇月でいずれも防錆効果が認められた。また、18箇月までの自然電位の経時変化から鉄筋周辺の腐食改善までの期間は通電電流量が大きいほど短くなる傾向にあった。

②脱塩・再アルカリ化工法について、処理時間が長くなるほど防錆効果が高くなる傾向にあった。また、脱塩処理による水素脆化の影響はほとんどないことが確認できた。

③防錆剤を用いた断面修復工法について、いずれの工法も時間が経過するとともに自然電位が貴側に移行し、その防錆効果が認められた。

④アルカリ骨材反応が収束状態あるいは終了状態にあり、塩害が進展期にあると推測されるPC部材に対して、電気防食工法、脱塩・再アルカリ化工法を適用したが、今回の試験の範囲では、これらの電気化学的工法のアルカリ骨材反応に対する悪影響は確認されなかった。

6. ガイドライン作成部会の活動について

本部会においては、以上の議論を踏まえ、またその成果を実際にリハビリテーションを実施する技術者が利用できるようにすることを目的として、「複合劣化構造物の補修・補強ガイドライン(案)」の作成を試みた。作成したガイドライン(案)は、様々な複合劣化現象全般にわたり適用可能となるように記述することを目標としている。しかし、現時点では十分にすべての複合劣化現象が理解されていないことから、主として中性化と塩害の複合劣化現象を例として

取り上げる形で記述した。以下に、ガイドライン(案)の構成と条文を示す。

複合劣化構造物の補修・補強ガイドライン(案)

— 構成および条文 —

1. 総則

1.1 適用の範囲

本ガイドラインは、複合劣化現象により劣化が進行していると考えられるコンクリート構造物の診断および補修・補強を行う際に適用される。

1.2 適用基準等

本ガイドラインに明記なき事項に関しては、次の基準等などによる。

(1) 土木学会 2001年制定コンクリート標準示方書 [維持管理編]、2001年1月

(2) 日本建築学会 鉄筋コンクリート造建築物の耐久性調査・診断および補修指針(案)・同解説、1997年月

1.3 用語の定義

1.4 本ガイドラインの記述方針

2. 本ガイドラインの基本的考え方

2.1 診断および補修・補強の基本的な流れ

劣化が生じているコンクリート構造物の補修・補強を実施する場合には、構造物の劣化状況および性能評価、補修・補強工法、補修材料の選定、補修・補強工法の施工と点検、補修・補強後の維持管理および事後評価、という手順で進めなければならない。

2.2 複合劣化を対象とする場合の基本的留意点

(1) 劣化機構の推定に際して、複数の劣化要因、ならびに複合劣化の形態を明らかにしなければならない。

(2) 劣化の進行予測を行う際に、単独劣化との相違を明確にしなければならない。

(3) 補修・補強を実施する際に、複数の劣化要因、劣化機構を考慮しなければならない。

3. 構造物の劣化状況および性能の評価

3.1 基本

(1) 構造物の補修・補強を行うためには、適

切な方法で構造物の劣化状況を把握するとともに、今後の劣化進行を予測しなければならない。

(2) 劣化によって低下した構造物の性能を適切な方法で評価しなければならない。

3. 2 構造物における劣化状況の把握

(1) 補強・補修に先立って実施する構造物の点検あるいは調査は、構造物の劣化状況を的確に把握できる項目および方法によらなければならない。

(2) 構造物の点検や調査は、劣化予測を可能とする劣化モデルに対応したものでなければならない。

3. 3 劣化進行モデルおよび構造物の性能評価モデル

(1) 構造物の点検や調査結果から劣化状況を評価し、今後の劣化進行を予測するためには、劣化機構が複合した場合の劣化進行モデルを構築しなければならない。

(2) 劣化による構造物の性能低下を予測するためには、劣化現象を構造物の性能と関連づけるモデルを構築しなければならない。

3. 4 構造物の性能評価と判定

構造物に対して補修あるいは補強を行うか否かの最終判定は、構造物の性能が残存供用期間内において、要求性能を満足しているか否かを確認することによる。

4. 補修・補強工法の選定

4. 1 基本

劣化したコンクリート構造物の補修・補強を実施するにあたっては、構造物の劣化状況とそれに伴う性能低下の状況、ならびに補修・補強工法の特徴を考慮し、求められる効果を経済的に発揮できる補修・補強工法を選定しなければならない。

4. 2 工法選定方針の決定

劣化したコンクリート構造物に補修・補強を適用する場合には、補修・補強後の構造物に要求される性能レベルおよび補修・補強工法の選定方針を明確にしなければならない。

4. 3 各種工法の性能評価

(1) 補修・補強工法の選定にあたっては、構

造物の劣化や性能低下の状況に対応する各種工法の性能を予め評価しておかなければならない。

(2) 複合劣化を対象として工法を選定する場合には、工法に要求される性能が単独劣化の場合よりも増加する可能性があることに十分留意しておかなければならない。

4. 4 補修・補強工法の選定

(1) 補修・補強工法は、求められる性能回復レベルを達成することのできる中から、最も適切なものを選定しなくてはならない。

(2) 複合劣化構造物に対する補修・補強工法は、複合することによる劣化機構の変化、および、補修・補強効果の変化などに十分対応できるものを選定しなくてはならない。

5. 補修・補強材料の選定

5. 1 基本

劣化したコンクリート構造物の補修・補強を実施するにあたっては、それぞれの工法に要求される性能を確保するため、使用材料に求められる品質や性能を満足している材料を選定しなければならない。

5. 2 各種材料の性能評価

(1) 補修・補強材料の選定にあたっては、構造物の劣化や性能低下の状況および環境条件に応じて材料に対する要求性能およびその要求レベルを設定しなければならない。

(2) 補修・補強に使用する材料が要求性能を満たしているかを適切な試験によって評価しなければならない。

5. 3 補修・補強材料の選定

(1) 補修・補強材料は、工法から要求される材料の性能レベルを満足するものの中から適切なものを選定しなければならない。

(2) 補修・補強材料は、対象とする構造物の具体的な施工条件下で確実に施工が行えるものでなければならない。

6. 補修・補強工法および使用材料の性能照査

6. 1 基本

補修・補強工法や使用材料は、それらの工法・材料が適用されたコンクリート構造物の性能が、

残存供用期間を通じて要求性能を下回らないように維持できるものでなければならない。

6. 2 性能照査の方法

(1) 補修・補強工法の性能照査は、補修・補強工法が適用された構造物の劣化予測を定量的な方法で行い、残存供用期間を通じて構造物の性能が要求性能を下回らないことを確認することによって行う。

(2) 補修・補強工法や使用材料の選定において、補修・補強工法が適用された構造物の定量的な性能照査が難しい場合には、半定量的な方法を用いてよい。

7. 補修・補強工法の施工と点検

7. 1 施工計画

補修・補強工法の施工にあたっては、予め施工計画を入念に立案し、その計画に基づき施工の確実性と安全性を確認しなければならない。

7. 2 施工管理および検査

(1) 施工中は適切な段階で適切な方法により施工管理を行い、所定の品質が得られていることを確認しなければならない。

(2) 施工終了後は確実な補修・補強が実施されていることを適切な方法によって検査しなければならない。

8. 補修・補強後の維持管理および事後評価

(1) 補修・補強後の構造物においては、補修・補強工法の性能を考慮した適切な維持管理を行わなければならない。

(2) 複合劣化を対象として補修・補強を行った場合は、一般に維持管理のための点検間隔を短かくするとよい。

(3) 補修・補強を実施した構造物においては、ある一定期間後において、補修・補強の効果を評価することが望ましい。

(4) 補修・補強を実施した構造物においては、ある一定期間後において、補修材料・補強材料の耐久性を評価することが望ましい。

9. 結語

7. おわりに

本研究委員会は、平成10年4月より2年間の計画で活動を継続し、その間、上述の4部会を構成し、積極的に議論を行ってきた。一方、平成11年に山陽新幹線の福岡トンネル、北九州トンネルなどでのコンクリート塊の落下事故および、高架橋からのコンクリート片の落下事故が相次ぎ、コンクリートの信頼性が社会的に大きく揺らいできた。上述のトンネルおよび高架橋におけるコンクリートの劣化原因はまさに複合劣化であり、本研究委員会の対象とするところである。このような状況に鑑み、現時点において可能な限り高い技術水準の成果を得るために、本研究委員会の研究期間を1年間延長することを申請し、平成13年3月までの3ヶ年の活動となった。本委員会の採用、および延長を認めていただいた研究委員会に対し心よりお礼申し上げる次第である。

複合劣化に関する本格的検討は、本委員会が最初である。複合劣化現象に対する我々の検討も始まったばかりであり、我々の知識、経験もまだまだ十分ではない。その意味では本委員会の検討も最初の一步に過ぎず、今後も研究を蓄積していく必要があることをここに明記したい。

最後に、本委員会の立ち上げ時から精力的に活動していただきましたが、惜しくも平成11年3月に急逝されました大賀宏行博士への感謝をもって、本報告の結びとする。

参考文献

- 1) コンクリート構造物のリハビリテーション
研究委員会報告書、(社)日本コンクリート工
学協会、1998年10月
- 2) 土木学会 2001年制定コンクリート標準示
方書 [維持管理編]、2001年1月
- 3) 守分敦郎・溝江実・宮川豊章・梶田佳寛：
コンクリート表面塗装の除去技術の現状、一
P C けたの塗膜除去実験結果一、コンクリ
ート工学、Vol. 37、No. 10、1999. 10