

◆ 報 文 ◆

コンクリート構造物の健全度に関する実態調査結果

古賀裕久* 河野広隆** 渡辺博志***

1. はじめに

平成 11 年には、福岡トンネルでの剥落事故等、コンクリート構造物の信頼性を損ないかねない事故が発生した。また、鉄筋コンクリート住宅の早期劣化現象に関する報道等もあり、住宅・社会資本を形成するコンクリート構造物の耐久性について強い関心が寄せられることとなった。

建設省、運輸省、農林水産省は、このような状況を踏まえ、既存のコンクリート構造物の性能を維持し、新設構造物についてはさらに耐久性を向上させることを目的とし、「土木コンクリート構造物耐久性検討委員会」(以下、委員会)を設置した。委員会では、コンクリートの製造・施工プロセス、既存コンクリート構造物の状態および維持管理について現状分析が行われ、今後の建設および維持管理のあり方について検討が行われた。

本報告では、委員会での現状分析に資するべく行われた「コンクリート構造物に対する追加実態調査」(以下、実態調査)のうち建設省担当分の調査結果を報告する。

2. 調査の概要

実態調査として、基本調査、詳細調査、生コン調査の 3 つの調査を行った。各調査の目的や調査箇所数等を表-1 に示す。本報告では、このうち基本調査、詳細調査の主要な結果を示す。

コンクリート構造物の劣化現象については、特に周辺環境が厳しい地域での劣化事例や使用材料が不適切であった事例など、劣化が著しく対策が急がれるものを中心に、すでに多くの報告がなされてきた。しかし、これまでにストックされてきた構造物全体の中での劣化事例の占める割合など、今後の維持管理計画を考える上で必要不可欠なデータについて、必ずしも十分ではなかった。

そこで、今回の実態調査では、基本調査、詳細調査を通じ、既存の土木コンクリート構造物およ

びコンクリート材料の劣化状況について概要を把握した。

3. 基本調査

3.1 調査方法

対象とする構造物は、橋梁上部工、橋梁下部工、擁壁、カルバート(道路用)、河川構造物(水門、河川用カルバート)、トンネルの 6 種類である。竣工年代を、1965 年以前、1965~1974 年、1975~1984 年、1985 年以降の 4 つに分け、各都府県(北海道の場合は支庁)ごとに各竣工年代に該当する構造物を 2 件ずつ選定することを基本とした。選定は、管理台帳等をもとにランダムに行うものとした。

構造物種類、年代ごとの調査箇所数を表-2 に示す。これらの箇所について構造物の基本的なデータや周辺環境に関する情報を収集した。また、構

表-1 調査の目的

調査の種類	目的	主な調査項目	調査箇所数
基本	土木コンクリート構造物の劣化状況について、概要を把握する。特に竣工年代や構造物種類による差異を見る。	竣工年、周辺環境、目視による変状(ひび割れ等)観察	2,099
詳細	実構造物に用いられているコンクリートの品質や劣化の程度をコア試料を採取して把握する。	中性化深さ、コア圧縮強度、塩化物イオン量	152
生コン	打込み直前のレディーミクストコンクリートについて、抜き取り調査を行い、現状を把握する。	配合、スランプ、空気量、28 日圧縮強度	100

表-2 基本調査調査箇所数

構造物種類	竣工年				計
	~1964	1965~74	1975~84	1985~	
橋梁上部工	101	89	95	86	371
橋梁下部工	98	99	97	96	390
擁壁	73	91	95	89	348
カルバート	73	96	101	100	370
河川構造物	79	98	92	95	364
トンネル	60	71	63	62	256
計	484	544	543	528	2,099

造物の外観調査を行ない、変状が見られる場合は、ひび割れ図や写真を収集した。

3.2 劣化度の判定

収集した劣化箇所の写真、ひび割れ図、周辺環境等を総合的に勘案し、表-3に示す劣化度判定基準を用いて、各構造物の劣化度を判定した。トンネルについては、構造物としての判定は困難であるので、コンクリートのはく離、剥落の可能性に限定して判定した。

判定結果を図-1に示す。構造物の竣工年代と劣化した構造物の割合の間には明確な関係が認められ、古い構造物ほど劣化が進んでいることが確認でき、特定の年代の構造物で劣化が著しいといった傾向は見られなかった。一方、時間の経過とともに全ての構造物が劣化するわけではなく、竣工後35年以上が経過した(1964年以前の)構造物でも、そのうち54.8%は、劣化の兆候が認められなかった。

表-3 劣化度判定基準

劣化度	トンネル以外の構造物	トンネル
V	劣化が著しく、補修・補強を行う必要がある。劣化のため構造物の体力や使用性が低下している事が明白なもの。	はく離・剥落の危険性が明白な部分があり、ただちに補修を行う必要がある。
IV	劣化が著しく詳細調査を行い、補修するかどうか検討する必要がある。劣化のため構造物の使用性に悪影響が出ているおそれがあるもの。あるいは、放置するとさらに劣化が進行する事が十分に予想されるもの。	はく離・剥落のおそれがある部分が複数あり、補修するかどうか検討する必要がある。例えば、打音検査で異常音が認められた箇所が多数存在するもの。
III	劣化が認められ、追跡調査を行う必要がある。現時点では即座に構造物の使用性に影響を与えないが、将来的には劣化が進行することも予想されるもの。	はく離・剥落のおそれがある部分がある。例えば、打音検査で異常音が認められた箇所が存在するもの。
II	劣化の兆候が認められる。軽微なひび割れや錆汁等が認められ、条件によっては劣化が進行することも予想されるもの。	はく離や剥落につながる可能性のある部分がある。例えば、ひび割れやコールドジョイントの存在が目立つもの。
I	劣化の兆候が認められず、健全な構造物	はく離や剥落の兆候が認められず、健全な構造物

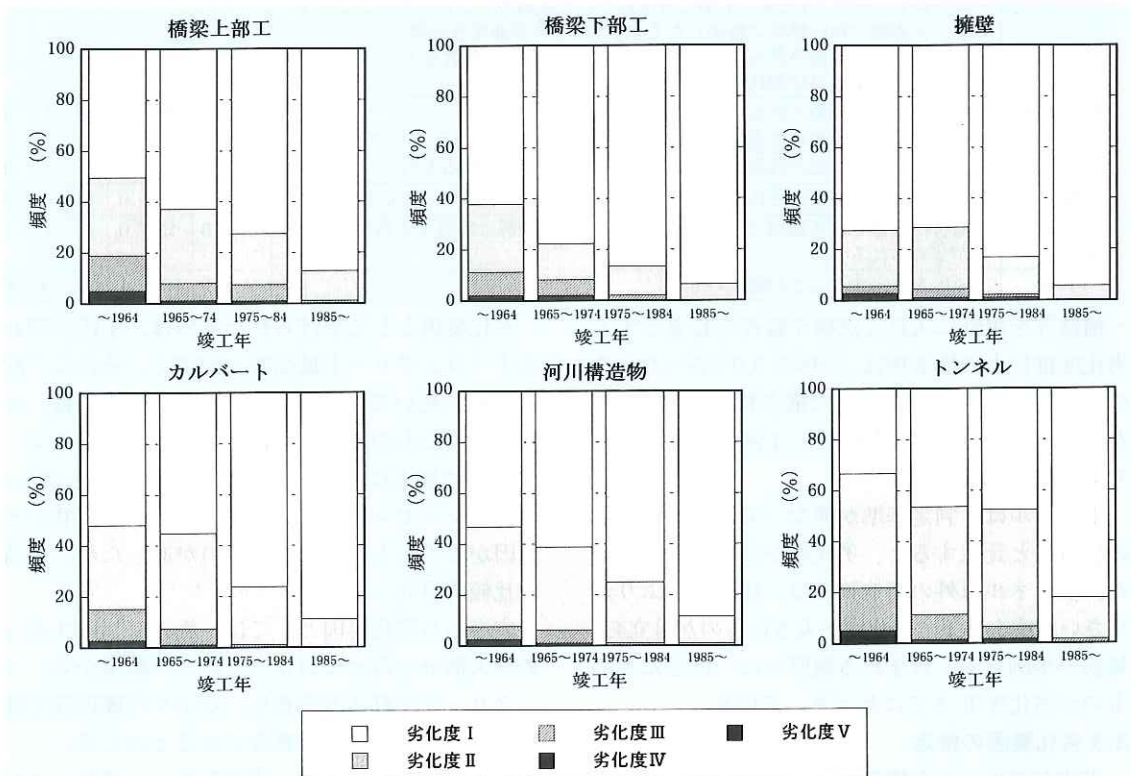


図-1 劣化度判定結果

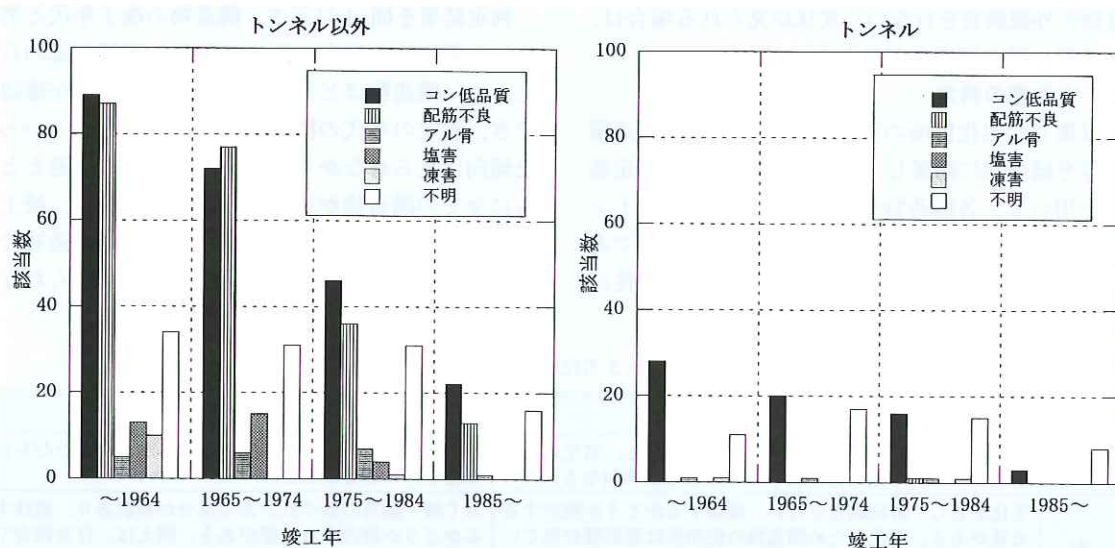


図-2 劣化要因の推定結果 (竣工年代別)

表-4 劣化要因と劣化要因の推定結果 (劣化度別)

劣化要因	劣化の状態 (複数解答)	劣化度ごとの該当数							
		トンネル以外				トンネル			
		V	IV	III	II	V	IV	III	II
コンクリート低品質	(下記の兆候から硬化したコンクリートが低品質である可能性がある。) ・打込み不良による豆板の発生や骨材分離が目立つもの ・コールドジョイントの目立つもの ・エフロレッセンス (セメント中に含まれていた炭酸カルシウム等がコンクリート表面に白い綿状に析出したもの) 等による表面変色が著しいもの ・コンクリート表面のざらつき、骨材露出などの変状が顕著なもの ・コンクリートのひび割れが目立つもの	2	9	51	250	1	2	17	53
配筋不良	・鋼材の露出が認められるもの ・多量の錆汁が認められる場合で、塩分の大量供給が考えにくいもの	2	11	46	194	0	0	1	3
アル骨	・アルカリ骨材反応に特有の亀甲状のひび割れが認められるもの	0	5	6	11	0	0	1	2
塩害	・塩分が外部から供給される環境にあり、鋼材の腐食が認められるもの	3	3	10	17	0	0	0	0
凍害	・凍害が予想される地域で、コンクリートの凍結融解に起因する角欠け等が認められるもの	0	1	10	13	0	0	1	1
不明	・原因を特定することが難しいもの	0	2	8	103	1	1	5	45

補修等を視野に入れて点検や監視を必要とする劣化度Ⅲ以上の構造物は、全体の5.9%あった。このうち劣化度Ⅴと判定された構造物は5例であったが、このうち1例は補修中、4例は補修計画中であった。

トンネルは、判定基準が異なっているため、他の構造物と比較すると、劣化度が高めになっていた。トンネル以外の構造物では、比較的かぶりが小さい橋梁上部工で劣化度が大きいものが目立ち、無筋の事例も多く含まれる擁壁では、ほとんどのものが劣化度Ⅱまでにとどまっていた。

3.3 劣化要因の推定

劣化が認められた構造物について、その劣化要因を推定した結果を図-2に示す。

劣化要因として挙げられたものは、年代に関わらず「コンクリート低品質」が多く、それに「配筋不良」が続いている。「コンクリート低品質」と判断されたものには、豆板やコールドジョイントのように施工に起因することが明らかなものと、エフロレッセンスやコンクリート表面の変状など原因が必ずしも明確でないものがあつたが、前者が比較が目立った。

すなわち劣化要因としては、施工に起因するものが大部分を占めており、これらの結果から、コンクリートの打込みや養生、かぶりの確保等を確実にしていくことが重要であると言える。

一方、アル骨や塩害、凍害などコンクリート材料そのものや周辺環境に起因する劣化事例は、全

国的なコンクリート構造物の数量からすると、必ずしも多くなかった。しかし、劣化度が高い事例ではこれらが劣化要因に挙げられる割合が高い。特に劣化度Ⅴの構造物のうちトンネルを除く3例(橋梁上部工2、橋梁下部工1)では、いずれも塩害が劣化要因の一つとして挙げられていた。今後も、塩害等の劣化の予防を確実にするとともに、補修・補強技術を向上させていく必要がある(表-4参照)。

なお、1986年のアルカリ骨材反応対策実施以降の構造物で、アルカリ骨材反応による劣化が疑われる構造物は、今回の調査では認められなかった。

3.4 補修の実施状況

構造物の供用年数と補修経験の有無の関係を図-3に示す。補修が実施された構造物の割合が供用された年数とともに増加しており、供用年数50年の構造物では、約半数で何らかの補修が必要となったことがわかる。ただし、ここでいう補修には、構造体としての補修だけでなく、排水装置等の補修や基準類の改訂に伴う改修等も含まれる。

4. 詳細調査

4.1 調査方法

詳細調査では、コアを採取し、中性化深さの測定や塩化物イオン量の測定、圧縮強度試験を行い、実構造物に用いられているコンクリートの品質や劣化の程度を把握した。

調査対象はコア採取のしやすさを考慮して、橋梁下部工、擁壁、カルバート、河川構造物の4種類の構造物から、各年代の構造物がほぼ均等に含まれるように選定した。構造物種類、竣工年代、劣化度ごとの調査箇所数を、表-5に示す。

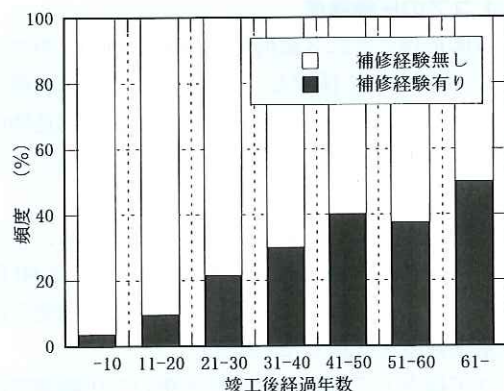


図-3 併用年数と補修経験の有無

4.2 中性化深さ

各構造物ごとに、3箇所のコア抜き位置で中性化深さを測定した。各箇所での中性化深さと構造物の供用年数を比較して、図-4に示す。

中性化深さを式(1)に示す岸谷式¹⁾と比較すると、84%の箇所で、 $W/C=60\%$ の場合の岸谷式による中性化深さ予測値を下回った。土木構造物では、鉄筋のかぶりは比較的大きくとられており、コンクリートの中性化が主な原因となって劣化している事例は、少ないものと考えられる。

$$t = \frac{0.3(1.15 + 3x)}{R^2(x - 0.25)^2} C^2 \quad (x \geq 0.6)$$

$$t = \frac{7.2}{R^2(4.6x - 1.76)^2} C^2 \quad (x \leq 0.6) \quad (1)$$

ただし、 t : C まで中性化する期間(年)

表-5 詳細調査調査箇所数
(構造物種類別)

構造物種類	竣工年				計
	～1964	1965～74	1975～84	1985～	
擁壁	5	6	7	6	24
カルバート	14	12	13	9	48
河川構造物	7	8	7	8	30
計	41	39	38	34	152

(劣化度別)

構造物種類	竣工年				計
	～1964	1965～74	1975～84	1985～	
劣化度Ⅳ	2	1	0	0	3
劣化度Ⅲ	6	3	2	0	11
劣化度Ⅱ	12	13	10	9	44
劣化度Ⅰ	21	22	26	25	94
計	41	39	38	34	152

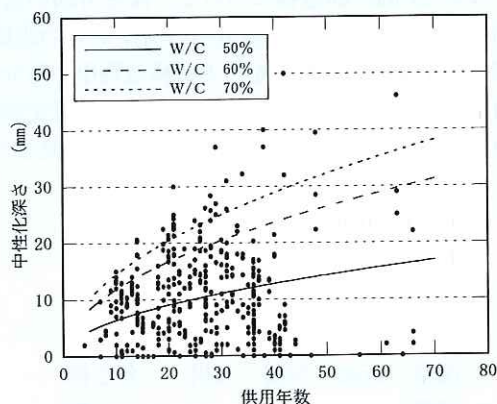


図-4 併用年数と中性化深さの関係

x : 水セメント比

C : 中性化深さ (cm)

R : 中性化比率 (ここでは 1.0 とした)

ところで、中性化の進行は経過時間の平方根に比例すると考えられるので、式 (2) に示す中性化速度係数を求めて、コアの圧縮強度と中性化速度係数を比較した。結果を図-5 に示す。

$$A = \frac{c}{\sqrt{t}} \quad (2)$$

ただし、 A : 中性化速度係数

c : 中性化深さ (mm)

t : 竣工後の経過年数

中性化速度係数は、コアの圧縮強度と明確な関係が見られ、強度が大きくなるにつれ中性化速度のばらつきが小さく、かつ小さくなっていることが確認された。

4.3 塩化物イオン量

各構造物ごとに 1 箇所、塩化物イオン量の試験を行った。コア抜き後、構造物表面から 2cm ごとに 10cm の深さまで乾式カッターでスライスしたものを試料とし、電位差滴定法²⁾により全塩分量を求めた。

塩化物イオンの存在で鉄筋が発錆する閾値としては、 $1.2 \sim 2.5 \text{ kg/m}^3$ と考えられている。今回の試験結果を見ると、表面から深さ 5cm の箇所、塩化物イオン量が 1.15 kg/m^3 以上となったものが、27 例 (17.8%) あった。ただし、今回の調査対象には無筋の構造物やかぶり厚が 5cm より大きい構造物が多く、コア抜き箇所近傍の鉄筋には著しい発錆は認められなかった。

この 27 例の構造物について、深さ方向の塩化物イオン量の変化や、構造物の海岸からの距離、凍結防止剤の使用日数をもとに構造物中の塩分の由来を推定した。結果を図-6 に示す。推定結果が初期であった 13 例の構造物の竣工年を見ると、

- ・ 1960~69 年 3 例
- ・ 1970~79 年 7 例
- ・ 1980~86 年 3 例

であった。一方、その地域に着目すると

- ・ 中国 4 例
- ・ 関東、近畿、四国、九州 各 2 例
- ・ 沖縄 1 例

であった。

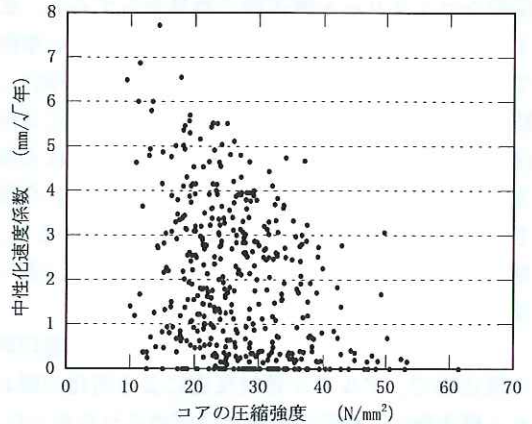


図-5 コアの圧縮強度と中性化速度係数の関係

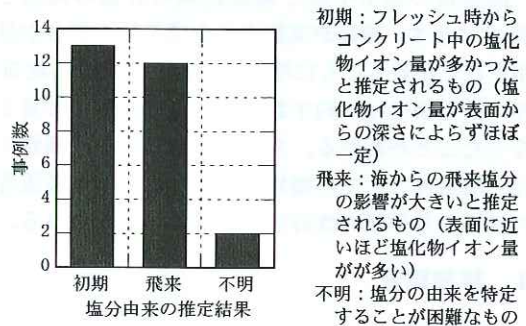


図-6 塩分由来の推定結果

1986 年の塩分総量規制実施以降は、その効果があり、初期の塩分量が問題になっている例は少ないと考えられる。一方、1970 年代頃の構造物では、主に西日本で、竣工当初から塩化物イオン量が多い構造物がある程度存在することも確かである。これらは、ただちに鋼材腐食等の問題を起こすとは限らないが、今後の維持管理において考慮する必要がある。

4.4 コアの圧縮強度

各構造物ごとに 3 箇所、 $\phi 100 \times 200 \text{ mm}$ のコンクリートコアを採取し、コアの圧縮強度試験を行った。結果を表-6 に示す。古い年代の構造物ほど構造物中のコンクリート強度がばらついていることがわかる。

詳細調査を行った 152 例の構造物のうち、コンクリートの設計基準強度が明らかなものは 80 例であった。これらについて、コアの圧縮強度と設計基準強度を比較した (表-7)。

コア抜きして採取した試料を用いて圧縮強度試験を行った場合、標準供試体を用いた場合と比較

すると、骨材の分布形態の違いや採取に伴う骨材のゆるみ等の影響を受け、試験結果がばらつき、かつ強度が1割程度以上小さくなると考えられるが、今回の試験結果の平均を取ると設計基準強度の1.36倍の強度が確保されていた。一方、設計基準強度に満たなかったものも9例あり、このうちの6例(7.5%)で設計基準強度の9割を下回る結果であった。

表-6 コアの圧縮強度

コアの強度 (N/mm ²)	竣工年				計
	～1964	1965～74	1975～84	1985～	
10≤ <15	3	2	1	0	6
15≤ <20	8	5	5	6	24
20≤ <25	8	11	10	11	40
25≤ <30	6	5	15	10	36
30≤ <35	3	13	5	3	24
35≤ <40	5	2	0	4	11
40≤ <45	5	0	2	0	7
45≤ <50	3	1	0	0	4
計	41	39	38	34	152

*3本の試験結果の平均

表-7 設計基準強度との比較

圧縮強度比	竣工年				計
	～1964	1965～74	1975～84	1985～	
0.9未満	2	1	2	1	6
0.9～1.0	0	0	1	2	3
1.0以上	17	15	20	19	71
不明	22	23	15	12	72
総計	41	39	38	34	152

*圧縮強度比＝コアの圧縮強度(3本平均)/設計基準強度

*不明：設計基準強度が不明であった事例

5. まとめ

- ① 図面や写真による劣化度判定の結果では、今後補修等を視野に入れて点検や管理を行うことが必要な構造物(劣化度Ⅲ以上)が約5%あった。
- ② 劣化の兆候が確認されたり、補修を経験したコンクリート構造物の割合は、経年による影響が最も大きかった。特定の年代に竣工した構造物が早期に劣化するといった傾向は見られなかった。
- ③ 中性化の進行速度は、従来から用いられてきた岸谷式による予測の範囲にほぼおさまっていた。
- ④ 1986年に制定されたアルカリ骨材反応抑制対策や塩分総量規制の効果が確認された。ただし、これらの対策以前に竣工した構造物では、アルカリ骨材反応による劣化を生じている事例や、竣工時からコンクリート中に多量の塩分を含んでいると考えられる事例があり、今後の維持管理において考慮する必要がある。

参考文献

- 1) 和泉意登志、喜多達夫、前田照信：中性化, pp.36-37, 技報堂出版, 1986.
- 2) 日本コンクリート工学協会：硬化コンクリート中に含まれる塩分の分析方法(JCI-SC4)

古賀裕久*

建設省土木研究所材料施工部
コンクリート研究室研究員
Hirohisa KOGA

河野広隆**

同 コンクリート研究室長
Hiroataka KAWANO

渡辺博志***

同 コンクリート研究室
主任研究員
Hiroshi WATANABE