

## CMI 報告

## コンクリート構造物の 診断・修復技術

柴藤 勝也・伊藤 文夫

### 1. はじめに

わが国においてはこれまでに大量のコンクリート構造物が構築・使用されてきた。それらの中には、長年の経過により劣化をきたしているものも出てきている。また、品質の劣った材料の使用や不適切な施工により、短い年数で欠陥が生じた場合も見受けられる。

近年、将来的にはこのようなコンクリート構造物の維持補修が、建設市場の30%以上を占めることになるという予測がなされている。したがって、劣化をきたしたコンクリート構造物の維持管理にあたっては、構造物としての健全性を的確に診断し、構造物の機能を維持できるような適切な修復を実施することにより、それらに要する維持管理費用等のライフサイクルコストをできるだけ抑制することが求められる。

本報告では、当研究所において実施した、コンクリート構造物の劣化等についての診断および修復方法の策定事例について紹介する。

### 2. コンクリート構造物の診断・修復検討

当研究所における近年のコンクリート構造物の診断業務（トンネルを除く）の一覧を、表—1に示す。構造物の種類としては橋梁、河川構造物が多い。劣化の種類としては、ひび割れが最も多い。

表—1に示す診断業務のうち、修復方法の策定までを実施した事例として、以下のものを紹介する。

- ①高架橋橋脚のひび割れ（表—1の事例10）
- ②建築物外壁のひび割れ、剥離・剥落（表—1の事例12）

表—1 コンクリート構造物の診断業務の一覧

事例	構造物種類	部材の種類	劣化の種類
1	海岸護岸工	胸壁	ひび割れ
2	橋梁	フーチング	ひび割れ
3	高架橋	RC 中空橋脚, PC 中空ホロー床版	ひび割れ
4	高架橋	橋脚および橋台	木コン下部のひび割れ, ジャンカ・表面気泡・砂すじ
5	河川調節池	洪水吐	ひび割れ
6	河川砂防用流路工	床固工	ひび割れ
7	高架橋	橋脚および橋台	木コン下部のひび割れ
8	U型擁壁, ボックスカルバート	底版および側壁	ひび割れ
9	横断橋	橋脚, 橋台, 壁高欄等	ひび割れ
10	高架橋	T型橋脚張出し部(PC)	ひび割れ
11	取水堰	頭首工	表面打替コンクリートのひび割れ
12	建築物	外壁	ひび割れ, 剥離・剥落
13	ボックスカルバート	ウイング	ひび割れ
14	堰	堰柱	ひび割れ, エフロレッセンス
15	樋門	函体	不等沈下, ひび割れ

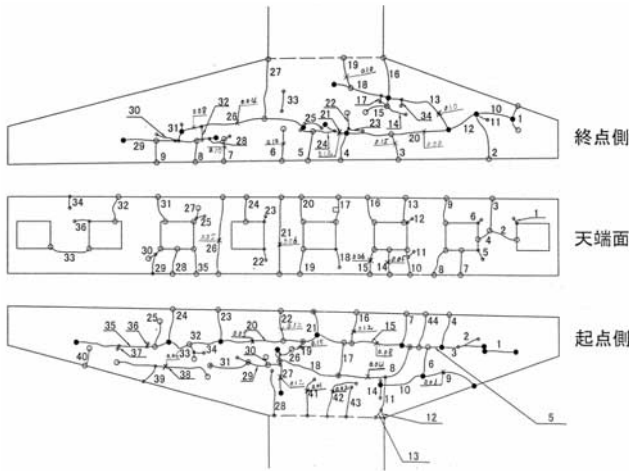
### 3. 業務事例

#### (1) 高架橋橋脚のひび割れ

##### (a) 劣化の発生状況および診断結果

施工中の高架橋 T 型橋脚の張出し部（厚さ 3 m）の側面および天端面に、多数の水平・鉛直方向のひび割れが発生した。ひび割れ発生状況を、図—1に示す。ひび割れは、型枠の取り外し（材齢 9 日）よりも前に発生した。ひび割れ幅は 0.04 ~ 0.12 mm と微細なものがほとんどで、部材を貫通している様子は見られなかった。コア採取によるひび割れ深さの調査（2箇所）の結果、ひび割れ深さは 20 数 cm であった。

ひび割れの発生時期、発生状況およびコンクリートが富配合（単位セメント量 = 369 kg/m<sup>3</sup>）であることから、ひび割れの発生原因は温度応力（内部拘束応力）であると予想された。そこで、この橋脚について温度応力解析を実施したところ、ひび割れ発生確率が大きいと判定される領域（コンクリートの引張強度よりも引張応力が大きくなる領域）が、実際にひび割れが発生している領域とほぼ重なる結果となった。そこで、このひび割れの発生原因は温度応力であると判断した。



図一 びび割れ発生状況

(b) 修復方法の策定

耐久性または防水性からみた補修の要否に関するひび割れ幅の限度を、表一2に示す。この表によれば、ひび割れ幅 0.2 mm 未満では補修は必要がないことになる。しかし、ひび割れ深さが 20 cm を超え、鉄筋の位置まで達している可能性もあることから、鉄筋腐食因子が鉄筋へ到達しやすい状態であると判断し、以下の方針の修復を実施することとした。

- ・ひび割れ幅が 0.2 mm 以上となっている一部の箇所では、エポキシ樹脂などによる注入工法
- ・注入が困難なひび割れ幅 0.2 mm 未満の箇所では、ひび割れ箇所を覆うひび割れ被覆工法

表一2 補修の要否に関するひび割れ幅の限度  
(日本コンクリート工学会：コンクリートのひび割れ調査、補修・補強指針)

区分	環境 2) その他の要因 1)	耐久性からみた場合			防水性からみた場合
		きびしい	中間	ゆるやか	—
(A) 補修を必要とするひび割れ幅 (mm)	大	0.4 以上	0.4 以上	0.6 以上	0.2 以上
	中	0.4 以上	0.6 以上	0.8 以上	0.2 以上
	小	0.6 以上	0.8 以上	1.0 以上	0.2 以上
(B) 補修を必要としないひび割れ幅 (mm)	大	0.1 以下	0.2 以下	0.2 以下	0.05 以下
	中	0.1 以下	0.2 以下	0.3 以下	0.05 以下
	小	0.2 以下	0.3 以下	0.3 以下	0.05 以下

注：1) その他の要因 (大, 中, 小) とは、コンクリート構造物の耐久性および防水性に及ぼす有害の程度を示し、下記の要因を総合して定める。

ひび割れの深さ・パターン、かぶり (厚さ)、コンクリート表面の塗膜の有無、材料・配 (調) 合、打継ぎなど

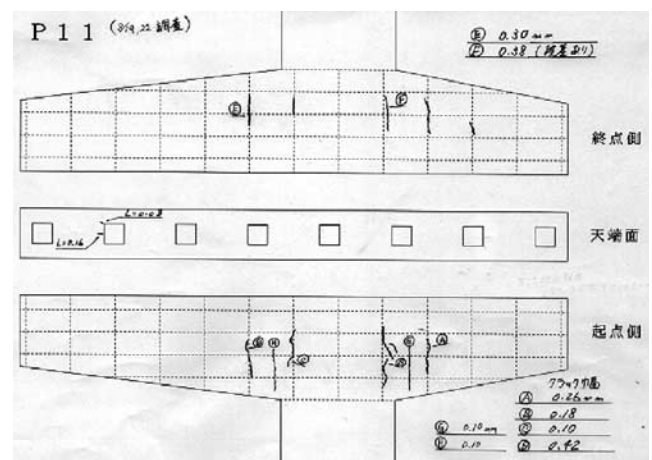
2) 主として鋼材のさびの発生条件からみた環境条件

また、この工事ではほかにも同様の橋脚を施工していくことから、同様のひび割れ発生を抑制するための対策を検討した。温度応力解析により、対策として採用し得る条件を入力して対策の効果を求めた。解析を行った結果 (最小ひび割れ指数) を、表一3に示す。どのケースも、一般的に十分な効果が得られるとされるひび割れ指数 1.45 以上を満足しないため、現実的に採用し得るケース 2 を採用することとした。

実際の施工では、この対策に加えて、張出し部に配置されたシース管に空気を通過させるエアクーリングを実施した。この方法はコンクリート内部の熱を排出して温度上昇を小さくし、コンクリート表面との温度差を小さくして、表面におけるひび割れ発生を抑制することを目的としたものである。この対策によって施工した橋脚張出し部のひび割れ発生状況を、図一2に示す。対策未実施の場合 (図一1) に比べ、大幅にひび割れを抑制できる結果となった。

表一3 ひび割れ抑制対策の解析結果

ケース	工法	具体策	最小ひび割れ指数
1	保温養生	材齢 14 日まで型枠を存置し、材齢 28 日までシート養生	0.79
2	保温養生 + 単位セメント量低減	上記に加え、高性能 AE 減水剤の使用により単位セメント量を 20 kg/m <sup>3</sup> 低減	0.88
3	保温養生 + 単位セメント量低減 + プレクーリング	上記に加え、プレクーリングにより打込み温度を 3℃ 低減	0.91



図一2 ひび割れ抑制対策採用時のひび割れ発生状況

(2) 建築物外壁のひび割れ、剥離・剥落

(a) 劣化の発生状況および診断結果

竣工から33年を経過した建築物の外壁（ハーフプレキャスト型枠）に、多数のひび割れや剥離・剥落が発生した。これらの劣化の発生状況を、写真-1に示す。これらは外壁の中に配置された鉄筋に沿って発生しており、剥離・剥落箇所からは錆びた鉄筋を見ることができた。このことから、ひび割れ、剥離・剥落は、長期間をかけて鉄筋が腐食し、その膨張によって発生しているものと考えられた。そこで調査は、以下に示す内容で実施することとした。

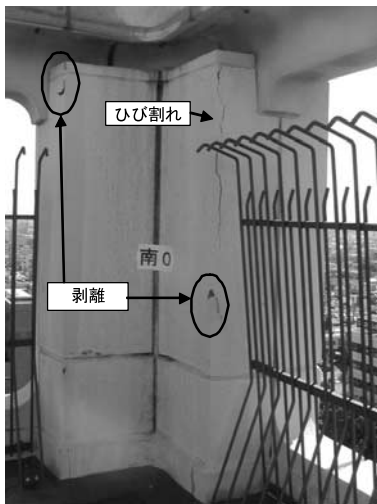


写真-1 外壁の劣化発生状況

- ・ 中性化深さ測定
- ・ 塩化物含有量測定
- ・ コア、シュミットハンマーによる圧縮強度測定
- ・ はつりによる鉄筋腐食状況調査
- ・ 赤外線法による外壁全面の浮き・剥離調査

これらの調査の結果、以下のことが判明した。

中性化深さの測定結果を図-3に示す。この図よ

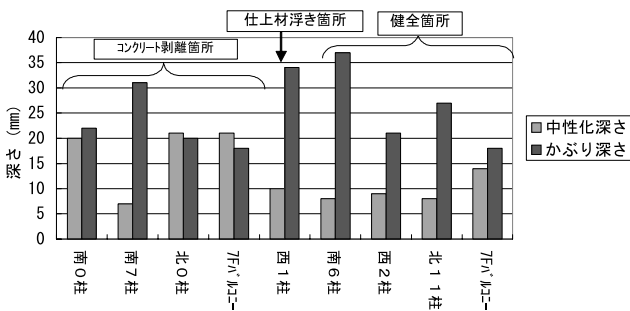


図-3 中性化深さの測定結果

り、劣化発生箇所ではほとんどの場合中性化深さがかぶり深さに達しており、鉄筋を腐食させる要因となっていることがわかった。また、中性化深さが大きいほど、外壁コンクリートの圧縮強度が小さいことがわかった。

塩化物含有量の測定の結果、塩化物はほとんど含まれておらず、塩害は無関係であることがわかった。

赤外線法による浮き・剥離調査の結果、約1万m<sup>2</sup>の外壁において浮き・剥離が50箇所以上発生していることがわかった。

(b) 修復方法の策定

外壁の劣化箇所においては、コンクリートの剥落による第三者被害が発生するおそれがあるため、コンクリートの脆弱部の除去を行う必要があると判断した。それ以外の箇所は、将来的には中性化が鉄筋の位置まで進行し、ひび割れその他が発生すると予想されるため、中性化した部分の再アルカリ化によって今後の中性化進行を抑制する必要があると判断した。

これらの判断に基づき、修復は以下の内容で実施することとした。

- ①現状の仕上材の全面撤去
- ②外壁の変状箇所（ひび割れ、浮き・剥離）の除去
- ③除去部の鉄筋の錆除去、防錆剤塗布およびモルタルなどによる断面修復
- ④外壁のアルカリ性回復を目的とした、全面的な浸透性アルカリ性付与材の塗布
- ⑤仕上材の全面修復

4. おわりに

私たちは、これまでに構築されたコンクリート構造物をより長く有効に活用していくための調査・診断や、修復対策提案の社会的意義の大きさを心に留め、それらをさらに効果的に実施するための技術の研鑽に努めていきたいと考える。 JICMA

[筆者紹介]

柴藤 勝也 (しばとう かつや)  
 (社)日本建設機械化協会 施工技術総合研究所  
 研究第三部  
 主任研究員

伊藤 文夫 (いとう ふみお)  
 (社)日本建設機械化協会 施工技術総合研究所  
 研究第三部  
 部長