

報告 非破壊検査による24年供用した鉄筋コンクリート壁高欄の調査

渡部 聡子*1・魚本 健人*2

要旨：昭和52年に竣工し24年間供用した鉄筋コンクリート壁高欄の現状を把握するため、同一箇所において各種非破壊検査を行った。得られた複数の検査結果を総合して損傷程度を評価した。さらにコンクリートコアの採取を行い、圧縮強度や中性化深さ試験から劣化状態を調査した。

キーワード：鉄筋コンクリート，非破壊検査，既設構造物

1. はじめに

コンクリート構造物はこれまでメンテナンスフリーと考えられ、長期間使用されるのが普通であった。以前からコンクリート構造物のアルカリ骨材反応や塩害などの劣化が問題となっていたが、1999年に発生したトンネル・高架橋からのコンクリート片剥落事故により、特に通行人・車両等への第三者被害が問題となってコンクリート構造物の維持管理の重要性が高まってきた。

一般的に構造物の維持管理は、定期的に点検・検査（一次点検）を行って不審な箇所を抽出し、その不審な箇所については再度詳細点検・検査（二次点検）を行い、さらに必要と判断されると補修・補強が実施される¹⁾。現在コンクリート構造物の一次点検は主に目視点検と打音検査が行われているが、これらの点検方法はコンクリート構造物に接近・接触しながら行うもので、時間がかかる上に点検結果の判断は個人の経験に大きく依存している。そこで最近構造物を傷つけず、簡易で定量的に調査・診断することができる非破壊検査が注目されている。

しかしこれまで非破壊検査は、実際のコンクリート構造物の品質が均一でないために測定値にばらつきがでることや、適用制限があることなどから一般的に用いられていない。そこで本報告では、既設構造物の同一箇所において各種非破壊検査を行い、複数の検査結果を総合して

損傷程度を評価し、さらに採取したコアの圧縮試験や中性化深さ試験により劣化状況を調査した。

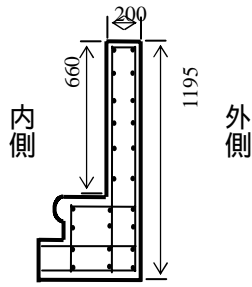
2. 鉄筋コンクリート壁高欄概要

調査した鉄筋コンクリート壁高欄は、首都高速湾岸線に舞浜出口が設置された際に撤去されたものである。舞浜出口は湾岸線本線と平行して高架部に設置され、当該壁高欄は南側に面し日当たりがよい環境にあった。建設当時の現場配合及び圧縮強度試験データは残っていないが、当時使用されていた設計基準書²⁾等より各諸元を調べた。建設当時から現在に至るまで、補修・補強等は実施されていない。壁高欄の設計諸元を表-1に示す。また壁高欄の断面図を図-1に、状況を写真-1に示す。

高欄外側のコンクリート表面を観察すると、上部より垂直下方に向かって最大幅0.5mm、8本のひび割れが確認できた。内側にも同位置にひび割れがあり、貫通しているように見えるが、ひび割れの深さについて目視では確認できなかった。表面性状については変色や剥落した箇所は見受けられなかったが、全面でセメントペースト分が4mm程度剥離したような骨材が露わになった状態であった。特に高欄内側では粗骨材の形状がわかるほどであった。今回調査した範囲外で、付近の高欄のなかにはかぶりコンクリートの剥離による鉄筋露出箇所があった。

*1 (財)首都高速道路技術センター 技術部 (正会員)

*2 東京大学 生産技術研究所 教授 工博 (正会員)



(単位: mm)

図-1 壁高欄断面図

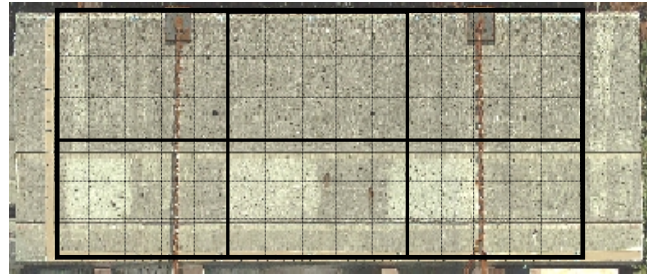


写真-1 壁高欄状況写真

表-1 壁高欄の諸元

竣工年月	昭和52年7月
供用年月	昭和53年1月
設計基準強度	$c_k = 300 \text{ kgf/cm}^2$
使用セメント	普通ポルトランドセメント
最大粗骨材寸法	25mm
スランプ	$8 \pm 2.5 \text{ cm}$
空気量	$4 \pm 1\%$
使用鉄筋径	D13
鉄筋かぶり厚	高欄の内側, 外側ともに30mm
配筋状態	おおよそ主鉄筋, 帯鉄筋とも 約100mm間隔
撤去年月	平成13年5月
撤去時の交通量	61,000台

表-2 非破壊検査方法一覧

非破壊検査法	検査対象
デジタルカメラ撮影	ひび割れ 表面性状
打音法	内部欠陥
赤外線法	内部欠陥
超音波法	ひび割れ深さ
電磁波レーダ法	鉄筋位置 かぶり厚
自然電位法	鉄筋腐食
シュミットハンマー法	圧縮強度

3. 非破壊検査

3.1 検査項目及び検査方法

検査は壁高欄の外側, 写真-1の太枠で囲まれた範囲を測定対象とし, 表-2の非破壊検査を適用した。

3.2 検査結果

写真-1の左下を(0.0)として水平方向に3.0m, 鉛直方向に1.2mの範囲内に20cm間隔で目盛りをとり, 測定結果を視覚的に表現する。内部欠陥やひび割れについては, 複数の非破壊検査を行いその測定結果を比較した。

(1) デジタルカメラ撮影

レンズ交換式の高精細デジタルカメラ (撮影素子: 140万画素 2/3インチ CCD, 画像解像度: 1280×1000ピクセル, 撮像感度: ISO800相当)

を用いて壁高欄外側の表面変状を撮影し, あり・倍率補正・パノラマ合成・損傷抽出等の画像処理を行って, 正射投影された詳細全景画像を作成した。画像処理後にモニターで識別できる最小ひび割れは, 0.1mm程度である。図-2にデジタルカメラで撮影・画像処理したひび割れトレース結果を示す。ひび割れの幅が0.1mm以上のものは, 位置や長さが目視結果とほぼ一致した。しかしひび割れ幅が0.1mm未満については, 抽出できなかったものや誤抽出したものがある。この原因はコンクリート表面の骨材が露



図-2 ひび割れトレース図

になっており、画像上での観察が困難であったためである。

(2) 打音法

インパルスハンマーを用いて壁高欄の外側を打撃し、特殊フード付きマイクロフォンにて集音した。この打撃音から振幅・減衰・周波数成分を算出して内部欠陥を評価した。打撃は水平・鉛直方向とも 20cm 間隔とした。その結果を図-3 に示す。振幅比、実効値比の分布は測定範囲全体においてほぼ一様となっており、周波数重心と併せて判断すると異常値を示す箇所は見られなかった。

(3) 赤外線法

赤外線放射温度計及びサーモカメラを用いて壁高欄外側のコンクリート表面温度分布を測定・可視化し、内部欠陥の有無を評価した。測定日は終日晴天の 10 時から 16 時の間で行い、熱源は太陽光とした。測定結果を図-4 に示す。測定日は測定開始から終了時までのコンクリート表面温度差が 12.4 度あり、測定に適した環境であった。しかし表面温度に若干温度差はあるものの、測定開始から終了までの撮影において表面温度の著しい差はみられず、内部欠陥を示すような測定結果は得られなかった。

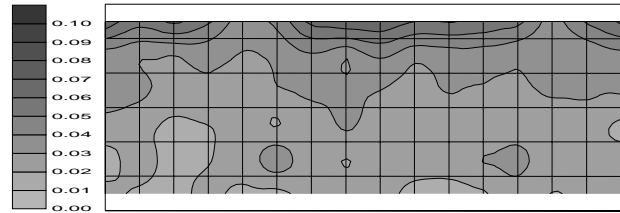
打音法と赤外線法の両検査から、内部欠陥箇所は存在しないと判断できる。

(4) 超音波法

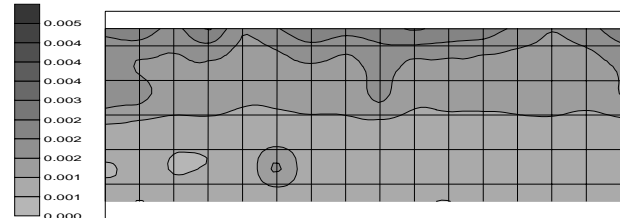
超音波直角回折波法³⁾により、壁高欄外側のコンクリート表面のひび割れ幅・深さを測定した。測定するひび割れは目視にて抽出し、ひび割れ長さに応じて 20cm 間隔とした。ひび割れに対してほぼ等間隔に超音波探触子を配置し、受信回折波の第 1 波の極性が負から正方向に変化した時間を用いてひび割れ深さを求めた。結果を表-3、図-5 に示す。ひび割れは上部より垂直下方に生じ、幅は最大 0.5mm 以下で最大深さは 130mm であり鉄筋位置より深い、貫通ひび割れとなっていない。

(5) 電磁波レーダ法

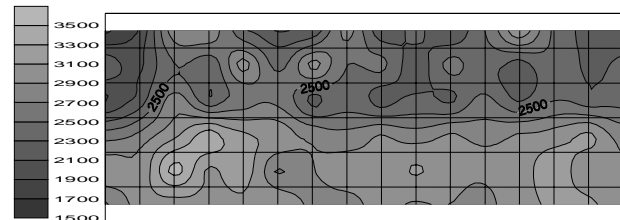
電磁波レーダ装置を用いて配筋状況及びかぶ



(a) 振幅比：振動の大きさを示す



(b) 実効値比：振動，減衰の大きさを示す



(c) 周波数重心：周波数 0～5000Hz の音色の高低を示す

図-3 打音法 測定結果

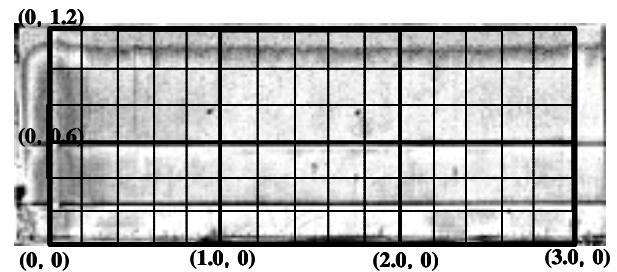


図-4 サーモグラフィ法 測定結果

表-3 ひび割れ深さ測定結果

測点番号	測定結果 (単位 mm)				長さ
	A	B	深さ	幅	
1-1	75	75	75	0.5	650
1-2	55	105	76	0.15	
1-3	30	25	27	0.1	
2-1	55	70	62	0.15	450
2-2	15	20	17	0.15	
3-1	75	75	75	0.15	200
4-1	85	95	90	測定不能	150
5-1	70	95	82	0.15	200
6-1	140	110	124	0.25	800
6-2	120	100	110	0.15	
6-3	120	140	130	0.1	
6-4	35	10	19	0.1	
7-1	15以下	15以下	15以下	測定不能	100
8-1	85	75	80	0.25	400

A, B：超音波探触子からひび割れまでの距離

り厚の測定を行った。アンテナ走査側線は水平方向，鉛直方向とも概ね 10cm 間隔とした。測定結果を図-6 に示す。壁高欄の断面変化に伴い，配筋状況も変化していた。上方の部材厚が 20cm の配筋について主鉄筋間隔は平均 96mm 間隔，帯鉄筋間隔は最小 100mm から 140mm となった。下方の配筋は鉄筋からの反射が重なり位置は不鮮明な結果となった。この原因は部材厚の変化に伴い，配筋が密になっているためと考えられる。主鉄筋までのかぶり厚は 30mm～40mm となり，設計基準書のかぶり厚（30mm）を満足している。

(6) 自然電位法

鉄筋腐食診断計（回転式鉛照合電極）を用いて自然電位を測定した。測定した自然電位は含水率と中性化深さにより補正し，5cm 間隔の分布図を作成した。その結果を図-7 に示す。表-4⁴⁾より補正した自然電位（E）と腐食度の関係から，また表-5より鉄筋腐食度は または の領域であることから，鉄筋表面にわずかな点錆が生じている状態であり腐食していないと判定できる。

(7) シュミットハンマー

シュミットハンマーを用いて，コンクリート表面の反発硬度より圧縮強度の推定を行った。反発値（R）は 1カ所 20点測定し，打撃方向による補正を行う。異常値の削除は行わず，その平均値を日本材料学会式（1）⁵⁾に代入して推定した。その結果を図-8 に示す。上方の部材厚が 20cm の部位においては強度が約 25N/mm²と低く，下方の部材厚が 50cm の部位については約 40N/mm²と高くなった。

日本材料学会式

$$F_c = (-184 \times 13R) \times 0.098 \quad (1)$$

ここに F_c：標準円柱体圧縮強度(N/mm²)

4. 詳細検査

4.1 試験項目及び試験方法

劣化状況を詳細に調査するため，表-6 に示す各試験を行った。

*1-1 は表 3 の測点番号を表す

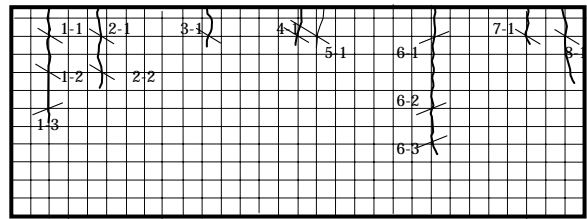


図-5 ひび割れ深さ 測定結果

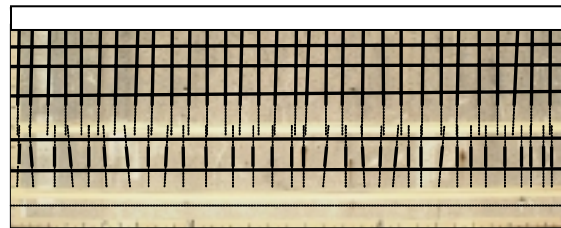


図-6 電磁波レーダ法 測定結果

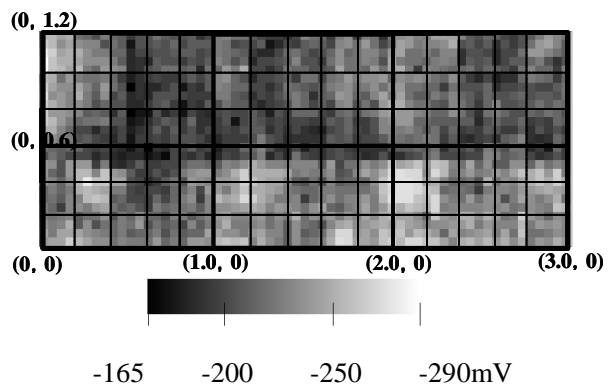


図-7 自然電位法 測定結果

表-4⁴⁾ 補正自然電位と鉄筋腐食度の関係

補正自然電位（E）	腐食度
-250mV < E	
-350mV < E -250mV	
-450mV < E -350mV	
E -450mV	,

表-5 鉄筋腐食の評価基準

腐食度	評価基準
	腐食がなく黒皮の状態
	鉄筋表面にわずかな点錆が生じている状態
	鉄筋表面に薄い錆が広がって生じており，コンクリートに錆が付着している状態
	やや厚みがある膨張性の錆が生じているが，断面欠損は比較的少ない状態
	鉄筋全体にわたって著しい膨張性の錆が生じており，断面欠損がある状態

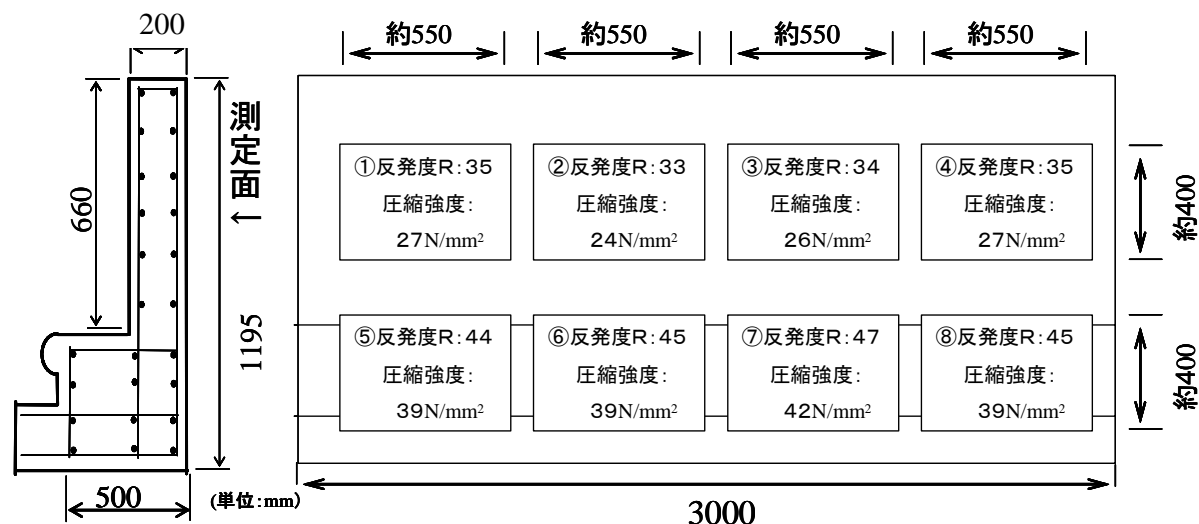


図-8 シュミットハンマー 測定結果

4.2 試験結果

内部欠陥や鉄筋位置，かぶり厚，鉄筋腐食を
検査するため，10cmのコアを採取した。この
コアを用いて圧縮試験，中性化深さ測定を行う。
各種非破壊検査結果より内部欠陥の有無は確認
されなかったため，適当な箇所において採取し
たコアを観察した。ただし下方の部位は鉄筋が
密に配置されているためコア採取が不可能であ
った。この結果，粗骨材寸法は設計配合通り
25mmであった。鉄筋位置はほぼ10cm間隔で
配筋されており，コア採取の際は鉄筋にあたっ
た。採取したコアより鉄筋のかぶり厚を測定す
ると，ばらつきはあるが外側で平均32mm内
側で43mmであり，設計時のかぶり厚を満足し
ていた。この結果は電磁波レーダ法による鉄筋
探査結果とほぼ一致している。

(1) 圧縮強度試験

コア試験体は JIS A 1107 に準じて作成
し，JIS A 1108 に準じて試験を行った。そ
の試験結果を表-7示す。コアはシュミットハ
ンマーの測定箇所図-8 付近で採取したが，
推定した圧縮強度と試験結果は一致しなかつ
た。上方の部材厚が20cmの部位においては
シュミットハンマーによる圧縮強度の方が低
い値となったが，これは測定箇所がシュミ
ットハンマーの適用限界の薄さであったため

表-6 検証試験一覧

検証対象	検証試験
ひび割れ	目視
表面性状	中性化深さ測定
内部欠陥	コア抜き
鉄筋位置 かぶり厚	コア抜き
圧縮強度	圧縮試験

表-7 圧縮強度試験結果

	No.1	No.2	No.3	平均
圧縮強度 (N/mm ²)	32.59	32.96	29.88	31.81
弾性係数 (kN/mm ²)	25.3	25.1	22.7	24.1

表-8 中性化深さ測定結果

単位: mm

	No.1	No.2	No.3	No.4
外側	17.25	13.00	13.25	24.20
内側	20.05	20.45	17.55	-*
平均	16.15	16.73	15.40	

*貫通コアが採取できなかったため測定不能

と考えられる。設計図書によれば、設計強度は300kgf/cm²であり、24年間供用していたにもかかわらず圧縮強度は設計基準強度を満足している。

(2)中性化深さ測定

中性化深さ測定に使用したコアはシュミットハンマーの測定箇所図-8、付近において採取した。採取した直後にコア表面にフェノールフタレイン1%溶液を噴霧して中性化深さ測定を行った。その結果を表-8に示す。壁高欄は竣工時から塗装されておりその後補修・補強されていないことから、供用時から中性化が起これたと考えられる。また内側と外側を比較すると、中性化深さは内側の方が進行していた。特に内側についてセメントペースト分が剥落したような骨材が露わになった状態であることから、内側の中性化が進行した原因は、なんらかの化学的劣化作用を受けていたためと考えられる。当該高欄の場合については、冬季に凍結防止のための塩化カルシウムの散布や臨海地域であったこと、車両走行側であることから、塩化物や排気ガスの影響が考えられる。しかし中性化深さは鉄筋位置までは進んでいないため、腐食していないと判断できる。また実際に採取したコアより鉄筋が腐食していないことを確認した。

5. まとめ

本研究では複数の非破壊検査を行って、損傷状況が評価できることを確認した。また採取したコアによる詳細検査を行って、24年間供用した既設鉄筋コンクリート構造物の劣化程度が確認できた。以下に得られた結論を示す。

(1)24年間供用した鉄筋コンクリート壁高欄は、複数の非破壊検査を総合して評価すると損傷箇所は特にないと見える。

(2)同一個所において基準となる座標を設け、検査結果を可視化することで、複数の非破壊検査結果を複合して判断でき、より精度

よく損傷程度が確認できる。

(3)採取したコアを用いて圧縮試験を行い、24年間供用した鉄筋コンクリート壁高欄の圧縮強度は設計強度を満足していることを確認した。

(4)中性化は供用時から起これているが、鉄筋のかぶり厚が設計条件を十分満たしているため鉄筋の腐食には至らなかった。部位による中性化の進行に差異があることがわかった。

謝辞：本研究は平成13年度の(財)生産技術研究奨励会の特別研究会「コンクリート構造物の劣化診断に関する研究」委員会の活動において行われたものである。各種非破壊試験は東京大学生産技術研究所千葉実験所内で行い、非破壊検査の実施とデータ整理にあたっては委員会の委員、東京大学生産技術研究所の関係者各位の協力を得ました。ここに厚くお礼を申し上げます。

参考文献

- 1) 土木学会：コンクリート標準示方書[維持管理編]，pp.13，2001 制定，2001
- 2) 例えば土木学会：コンクリート標準示方書，pp.97-211，昭和49年度版，1974
- 3) 山口哲夫，丸茂文夫，山口達夫，岡村憲一：超音波の直角回折波法による鉄筋コンクリートのひび割れ深さの測定，非破壊検査 Vol.45，No 10，pp.742-748，1996.10
- 4) 土木学会：鉄筋腐食・防蝕および補修に関する研究の現状と今後の動向 コンクリート委員会腐食防蝕小委員会報告，朝倉書店，1997.12
- 5) 日本材料学会：材料試験，Vol7，No 59，pp.40-44，1958.8
- 6) 和泉意登志，喜多達夫，前田照信：コンクリート構造物の耐久性シリーズ - 中性化，技報堂出版，1986.8