

24年間供用した鉄筋コンクリート壁高欄の劣化・耐久性調査

Inspection on Deterioration and Durability of RC Bridge Wall Rail Used for 24 years

渡部 聡子*・魚本 健人**

Satoko WATANABE and Taketo UOMOTO

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通常であった。これまでもコンクリート構造物の劣化が問題となっていたが、近年発生した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ている。

コンクリート構造物の耐久性を検討する場合、コンクリートの長期的な経年変化を予測する必要があるが、構造物の多くは複合的な劣化作用を受けると考えられ、その劣化機構は明確になっていない。

そこで本研究では、24年間供用した鉄筋コンクリート壁高欄を目視観察し、シュミットハンマー法と採取したコアにより圧縮強度、中性化深さを調査した。また既往の中性化速度式から算出した中性化深さと測定値を比較し、既設構造物の劣化・耐久性を検討した。

2. 実験概要

2.1 鉄筋コンクリート壁高欄の概要

鉄筋コンクリート壁高欄は、首都高速湾岸線の舞浜入口を増設した際に撤去されたものである。当該壁高欄は高架部に設置されており、南側に面し日当たりがよく海風のあたる環境にあった。また壁高欄外側には水切りが2本施工されている。建設当時の現場配合及び圧縮強度のデータは存在しないが、当時の設計基準書等¹⁾より各諸元を調べた。供用年数は24年間であるが、その間補修・補強は行われていない。壁高欄の設計諸元を表1に示す。

2.2 劣化調査内容

鉄筋コンクリート壁高欄の劣化状態を調査するため、目視により鉄筋コンクリート壁高欄の表面を観察し、シュミ

ットハンマー法により圧縮強度を推定する。またコアドリルによりφ10 cmのコアを採取し、中性化深さ測定や圧縮試験を行った。高欄断面図及びコア採取位置を図1に、劣化調査内容を表2に示す。

圧縮強度試験はJIS A 1107-1993に準拠するが、鉄筋コンクリート壁高欄の部材厚が20 cmのため、研磨によりコンクリート表面を成形して測定した。

中性化深さ測定は「炭酸化を受けたコンクリート構造物の判定マニュアル」²⁾によりコアを採取した直後に、コアをよく水洗いし表面の水分を拭き取った後、フェノールフタレイン1%溶液を噴霧し、コア表面から非発色域までの距離を測定した。

化学的劣化を調査するため、EPMA(電子マイクロアナライザー)による面分析³⁾を行った。試料は鉄筋コンクリート壁高欄のそれぞれ外側、内側から奥行き9 cmの部位である。測定元素は硫黄、塩素、窒素、ナトリウム、カルシウム、炭素の6項目とした。

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	$\sigma_{ck} = 300 \text{ kgf/cm}^2$
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
撤去年月	平成13年5月
撤去時の交通量	61,000台

* (財)首都高速道路技術センター

** 東京大学生産技術研究所 都市基盤安全工学国際研究センター

表 2 劣化調査方法

コンクリート表面の劣化	目視観察	コンクリート表面の劣化状況観察
圧縮強度推定	シュミットハンマー法	コンクリート表面にて圧縮強度推定
圧縮強度測定	圧縮強度試験	採取したコアより測定 使用コア:①,②,③
中性化深さ	フェノールフタレイン法	採取したコアより測定 使用コア:①,②,③,④
塩化物	EPMA分析	外部からの塩化物の進入状況の確認 使用コア:⑤

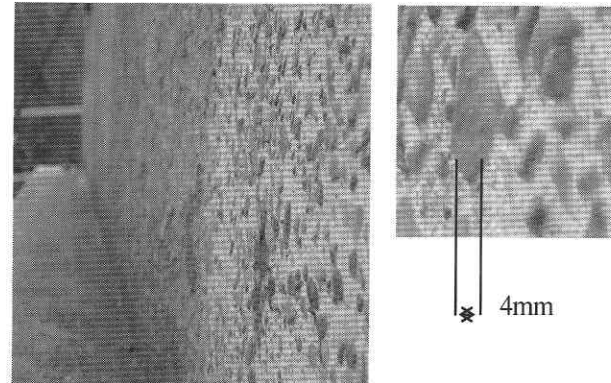
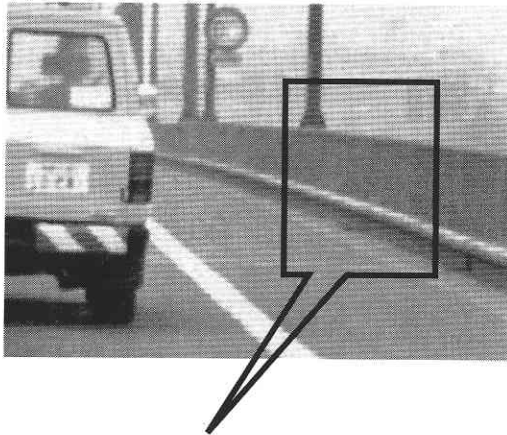


写真 1 コンクリート表面 (内側)

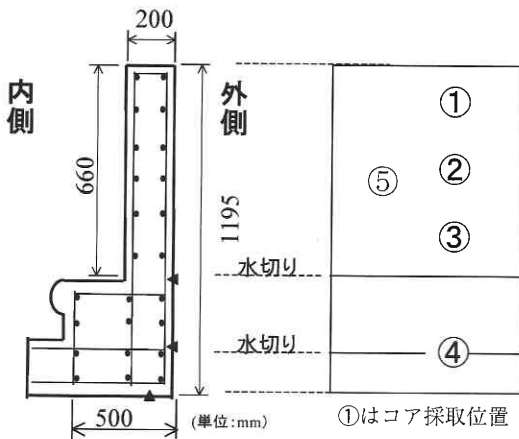


図 1 壁高欄断面図

2.3 実験結果及び考察

(1) 目視観察

コンクリート表面を観察すると、写真 1 のとおり外側、内側ともセメントペーストが剥離し骨材が露わになっている。特に内側は顕著であり、露わになった骨材の先端よりノギスで計測すると欠損は約 4 mm であった。鉄筋までのかぶり厚は測定箇所により差があるものの、平均すると外側が 32 mm、内側が 43 mm であった。設計書では外側、内側とも 30 mm となっているため、設計値を満足してい

る結果となった。最大粗骨材寸法は 25 mm で川砂利が使用されていた。鉄筋は D 13 であったが、高欄下部では D 13 よりも径の大きな鉄筋もあった。配筋は主鉄筋、帯鉄筋とも約 10 cm 間隔で配置されていた。これらの結果より、配筋、材料とも設計書とおりにっており、初期の欠陥はなかったと考えられる。また、鉄筋コンクリート壁高欄の表面にひび割れや剥離、鉄筋露出は見られず、コアを採取した箇所のどの鉄筋も発錆・腐食していなかった。

(2) 圧縮強度

鉄筋コンクリート壁高欄の外側について、シュミットハンマーにより反発値を測定した。反発値 (R) は 1 箇所 20 点測定し、打撃方向による補正を行った。異常値の削除は行わず、20 点の平均値を日本材料学会式⁴⁾に代入して推定した。測定結果を図 2 に示す。上方の部材厚が 20 cm の部位においては強度が約 25 N/mm²と低く、下方の部材厚が 50 cm の部位については約 40 N/mm²と高くなった。コンクリート表面が粗く、また部材厚の影響を受けたため、圧縮強度に差が生じたと考えられる。

採取したコアによる圧縮強度試験の結果を表 3 に示す。平均圧縮強度が 31.8 N/mm²となり、24 年間供用していたが、設計基準強度の 300 kgf/cm²を満足していた。

(3) EPMA による面分析

EPMA による面分析の結果、塩化物の浸透を示す塩素の

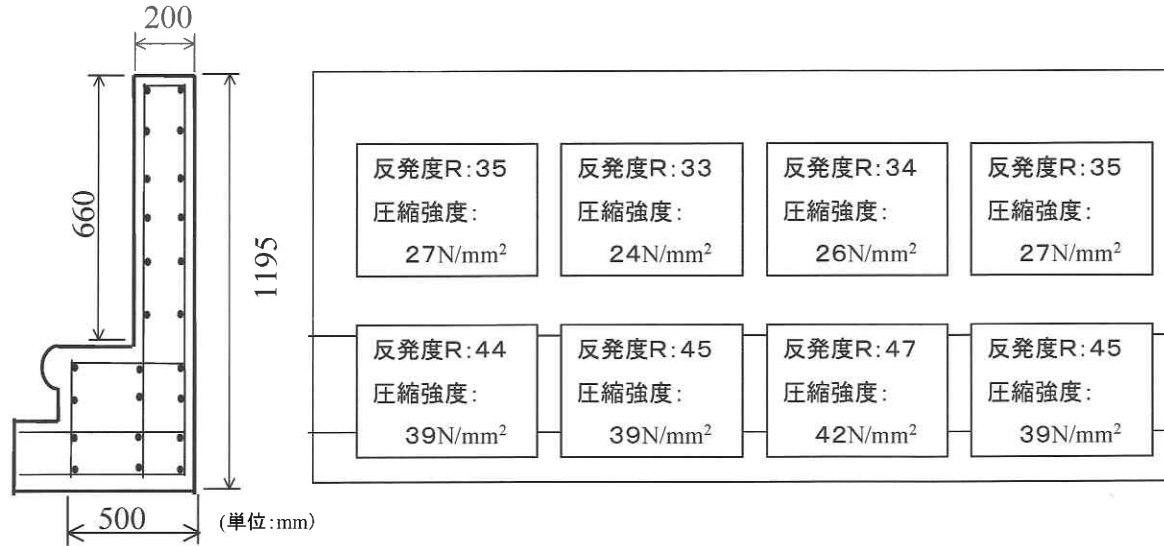


図2 シュミットハンマーによる圧縮強度推定結果

表3 圧縮強度測定結果

	①	②	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4 中性化測定結果 単位：mm

	①	②	③	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可

分布は検出されなかった。このことより塩化物による劣化は起こっていないと考えられる。また中性化によるナトリウムや硫黄の濃縮現象もみられなかった。

(4) 中性化深さ

測定結果を表4に示す。測定の結果、平均中性化深さは約16mmとなり、壁高欄の外側、内側で差が見られた。④の位置においては打ち継ぎ目だったことから、打ち継ぎ目に沿って中性化が進行していた。設計かぶり厚が確保されていたため、中性化深さは鉄筋位置まで進行せず、鉄筋腐食には至っていない。

これまでの結果から鉄筋コンクリート壁高欄は初期欠陥もなく、鉄筋腐食もないことから、劣化の原因は主に中性化と推測できる。

既往の研究より提案されている中性化速度式^{5,6)} [1], [2], [3]により、24年供用時の中性化深さを求めた。

浜田式

$$t = \frac{k}{R} C^2$$

$$k = 0.3(1.15 + 3x) / (x - 0.25)^2 \dots \dots \dots [1]$$

岸谷式

$$t = \frac{7.2}{R^2(4.6x - 1.76)^2} C^2 \dots \dots \dots [2]$$

魚本・高田式

$$C = (2.804 - 0.847 \log c) \cdot e^{(8.748 - 2563/T)}$$

$$\times (294x - 101.2) \times 10^{-3} \times \sqrt{c \times 52.2t} \dots \dots \dots [3]$$

ここに、t = 24年、x = 水セメント比、R = 中性化比率⁵⁾、C = 中性化深さ (cm)、c = 炭酸ガス濃度 (%), T = 絶対温度、とする。

このとき R = 中性化比率は既往の研究⁵⁾より求めた値とした。水セメント比は設計基準書より0.55¹⁾とした。c = 炭酸ガス濃度は屋外を想定し0.03%、T = 絶対温度は293度とした。その結果を表5に示す。中性化速度式で求めた中性化深さより測定結果が大きな値となった。この原因は鉄筋コンクリート壁高欄は南側を向いて設置されており、しかも風通しのよい乾燥した状況にあったためと推測できる。しかし壁高欄外側と内側に差があり、さらに内側の中性化深さが大きな値となったことについては、南側に

表 5 中性化速度式より推定した中性化深さ

	浜田式	岸谷式	魚本・高田式
中性化深さ(mm)	16.04	14.06	15.19

設置されていたという環境だけが原因とはいえないだろう。壁高欄の内側の中性化深さが外側に比べて大きくなる結果は既往の研究⁷⁾でも明らかとなっており、原因は走行車両の排気ガス及び凍結防止用の塩化物等の影響となっている。

中性化に関する性能照査の確認⁸⁾を式 [4] より行った。

$$\begin{aligned} \gamma_i \frac{y_d}{y_{lim}} &\leq 1.0 \\ y_{lim} &= c - ck \\ Yd &= \gamma_{cd} \cdot \alpha \sqrt{t} \\ Ad &= \alpha k \cdot \beta e \cdot \gamma_c \\ \gamma_p \frac{\alpha p}{\alpha k} &\leq 1.0 \\ \alpha p &= a + b \cdot W/B \dots\dots\dots [4] \end{aligned}$$

ここに、 $\gamma_i = 1.0$, $c = 30$, $ck = 10$, $y_{lim} = 20$, $\gamma_{cd} = 1.15$, $\beta e = 1.6$, $\gamma_c = 1.3$, $\gamma_p = 1.1$, $W/B = 0.55$, とした。

照査の結果、既設構造物のかぶり厚が 30 mm 以上であることもあり、撤去時の供用年数である 24 年間の鋼材腐食発生限界深さに対する照査結果は性能を満足していた。しかし耐用年数を 31 年とすると照査結果は性能を満足しなくなる。撤去時での設計中性化深さの設計値は 17.79 mm となり、測定結果と比較すると設計値よりも中性化が進行している箇所があることがわかる。

3. ま と め

本研究により得られた知見を以下に示す。

- 1) 鉄筋コンクリート壁高欄の表面はセメントペーストが剥落し骨材が露わになった状態であった。しかし配筋、材料等設計書通りであり、鉄筋の腐食もなかった。EPMA による面分析等の結果から主な劣化原因は中性

化であると考えられる。

- 2) シュミットハンマーによる圧縮強度の推定を行った結果、採取したコアによる圧縮試験結果と差が出た。これはコンクリート表面状態や部材厚の影響を大きく受けたためと考えられる。また供用 24 年であっても設計基準強度を満足していた。
- 3) 中性化深さの測定結果は、中性化速度式で算出した値よりも大きく、また部位により進行速度に違いがあることがわかった。これは既往の研究と同様な傾向であり、都市内道路の特徴と思われる。耐久性照査の結果、供用年数を 31 年とすると性能を満足せず、供用年数 24 年は耐用限界であることがわかった。

謝 辞

本研究の実施に際して、首都高速道路公団より鉄筋コンクリート壁高欄を提供していただきました。感謝の意を表します。

(2002 年 3 月 14 日受理)

参 考 文 献

- 1) 例えば土木学会：コンクリート標準示方書，昭和 49 年度版
- 2) 炭酸化研究委員会：コンクリート工学協会，炭酸化を受けたコンクリート構造物の判定マニュアル，1993
- 3) 小林一輔編著：コア採取によるコンクリート構造物の劣化診断法，森北出版，1998
- 4) 日本材料試験協会：シュミットハンマーによる実施コンクリートの圧縮強度判定方法指針（案），材料試験，第 7 巻第 59 号，昭和 33 年
- 5) 岸谷，西澤他編，和泉，喜多，前田著：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
- 6) 魚本，高田：コンクリートの中性化速度に及ぼす要因，土木学会論文集，NO. 451，V-17，pp. 119-128，1992
- 7) 植木，小林，中野，江尻：都市内高速道路の鉄筋コンクリート高欄における中性化，コンクリートの炭酸化に関するシンポジウム論文集，日本コンクリート工学協会，1993
- 8) 土木学会：コンクリート標準示方書 [施工編]，平成 11 年度版