

# 70年経過した鉄筋コンクリート製車道橋の調査

鈴木英高\*1・迫田恵三\*2

## An investigation on an 70 years old reinforced concrete bridge

Hidetaka SUZUKI and Shigemi SAKODA

### Abstract

Recently, the maintenance of existing reinforced concrete structure has been receiving a great attention in Japan, as a result it is expected that many structures have to be repaired and a great number of maintenance works will be necessary in near future. Although the deterioration of structures at the early ages is pointed out, the investigation of the durability of the structures in long-term is important for repairment and reconstruction. In this study, the piers of a 70 years old bridge, which were subjected to physical and chemical deterioration, were investigated. Samples were obtained through boring reinforced concrete piers. It was found that the average uniaxial compressive strength of piers of the structure was 28.3N/mm<sup>2</sup>. However, the carbonation depth indicated a higher value than the expected value. The corrosion of the reinforcing bar was relatively limited. It was found out that the strength of concrete of structure was high, and the corrosion of the reinforcing bar was quite limited although the 70 years have already passed after its construction.

## 1. はじめに

我が国には様々なコンクリート構造物が建設されており、構造物の経年劣化により構造物を補修・補強し、維持していくことが今後多くなることが予想される。さらに、近年では材料や施工不良などによりコンクリート構造物の早期劣化が問題となっている。これまで、コンクリート構造物の耐久性調査については幾多の報告があるが（小嶺ほか, 2000; 真崎ほか, 2002; 西垣ほか, 2002）コンクリートの配合, 施工方法, 設置環境などが異なっておりコンクリート構造物の耐久性を知る上では数多くの資料の蓄積が必要であると考えられる。長期間経過したコンクリート構造物を調査することは、コンクリートの性質や施工方法を知る上で重要となり、今後の補修内容や施工方法に有益になるものと考えられる。

本研究で調査した構造物は1933年に竣工した「清水橋」という構造物である。この構造物は建設されてから約70年経過していることから、一般の車両の通行などによる繰り返し荷重などの疲労が大きいと考えられる。また、二酸化

炭素や亜硫酸ガスなどの様々な劣化要因などにより化学的にも劣化が進み、耐久性の低下が起きている可能性が考えられる。

そこで本研究では、この70年経過した構造物の橋脚からコンクリートのコア供試体と鉄筋を採取し、コンクリートの物理的性質および力学的性質、鉄筋の腐食および力学的性質を明らかにすることを目的とし試験を行った。

## 2. 試験概要

### 2.1 構造物概要

本研究で調査した構造物の概要を Table 1 に示す。調査した構造物は静岡県静岡市清水に1933年に竣工した「清水橋」である。当時はJR 東海道本線の上を跨ぐ路面電車道として建設された。その後、1955年に拡幅工事が行われ、二車線の車道橋として使用されてきた。この車道橋（国道149号）は1日あたり約24000台もの交通量があり、市民にとって重要な幹線道路として使用されてきた。しかし、耐震基準を満たしていないなどの理由からこの構造物の架け替えが決まり2002年に解体工事が開始された。

2004年9月13日受理

\*1 東海大学大学院海洋学研究科海洋工学専攻 (Tokai University, Graduate School of Marine Science and Technology)

\*2 東海大学海洋学部海洋土木工学科 (Tokai University, Dept. of Marine Civil Engineering, Shizuoka, Japan)

**Table 1** Construction outline

Construction's name	Shimizubashi
Location	Shimizu-aioi, Shizoka
Length	180.8m
Width	14.5m
Construction variety	Reinforced concrete
Completion	1933
Extension	1955
Demolition	2002

## 2.2 調査橋脚および調査位置

本研究で調査した構造物は24部分に橋脚が存在する。清水橋設計図を Fig. 1 に示す。本研究ではそのうちの No. 8, No. 9 および No. 10 の 3 橋脚について調査を行った。No. 8 の橋脚は  $L \times W \times H : 72.0\text{cm} \times 78.0\text{cm} \times 332.0\text{cm}$  である。No. 9 は  $70.0\text{cm} \times 76.8\text{cm} \times 350.0\text{cm}$ , No. 10 は  $75.6\text{cm} \times 78.4\text{cm} \times 340\text{cm}$  である。

また、橋脚部位によるコンクリート品質の傾向を判断するため各橋脚の上部、中央部および下部の 3 ヶ所についてシュミットテストハンマーによる推定圧縮強度試験およびコア採取を行った。上部は上端から 50.0cm, 下部は下端から 50.0cm, 中央部は全長の半分のところに調査地点を設定した。

## 2.3 供試体

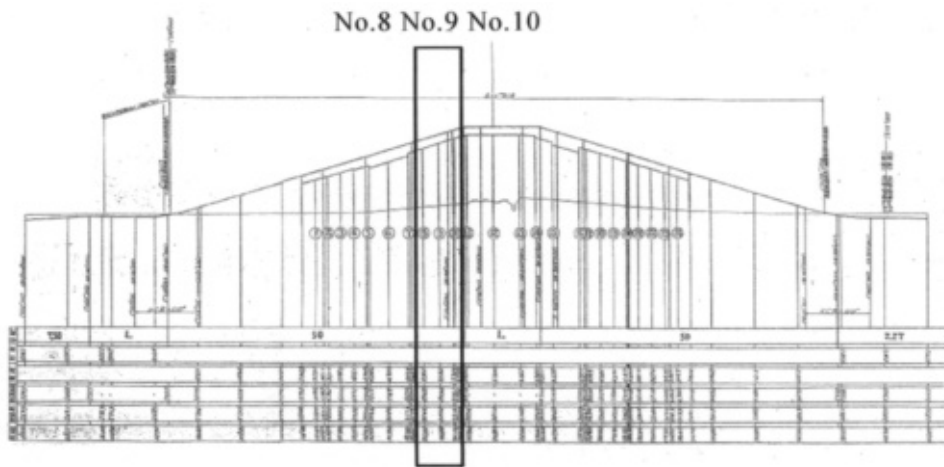
本試験で用いたコンクリート供試体は各橋脚からそれぞれコアボーリングにより  $\phi 10\text{cm}$  のコア供試体を採取した。また、鉄筋は各橋脚のコンクリート部分を削り取ることで鉄筋を採取した。

## 2.4 試験方法

コンクリート供試体と鉄筋の試験方法を Table 2 に示す。

### (1) 推定圧縮強度試験および圧縮強度試験

各橋脚の調査地点においてシュミットテストハンマーを用いて推定圧縮強度試験を行った。推定圧縮強度試験は土木学会規準「硬化コンクリートのテストハンマー強度の試

**Fig. 1** Outline of a 70 years old bridge**Table 2** Measurement items and methods

Material	Items	Method
Concrete	Compressive strength using Schmidt hammer	JSCE-G 504
	Compressive strength	JIS A 1107
	Longitudinal wave velocity	JCI Recommendation
	Dynamic modulus of elasticity	JIS A 1127
	Test for carbonation	—
	Test for presume of concrete mixture	JCA Recommendation
Steel	Tensile strength	JIS Z 2241
	Rate of corrosion srea	—

験方法 (JSCE-G 504)」に準拠し実施した。また、結果については70年経過している点を考慮し材齢係数0.63を適用している。

圧縮強度試験は、コア採取したコンクリート供試体を整形した後に JIS A 1107 に準拠し実施した。

### (2) 中性化試験

中性化試験はコア採取したコンクリート供試体の側面にフェノールフタレイン1%エタノール溶液を塗布し、無色部分を中性化深さとしノギスにより測定した。

### (3) 鉄筋の腐食面積率試験

採取した鉄筋の表面の腐食部分をスケッチした後に、画像解析ソフトによりスケッチ図を読み取り、解析面積を腐食面積で除し百分率で表した値を腐食面積率としこの値によって鉄筋の腐食状況を評価した。

### (4) 配合推定試験

コンクリートの配合推定試験はセメント協会コンクリート専門委員会報告 F-18「硬化コンクリートの配合推定試験に関する共同試験結果」および F-23「同 (その2)」に準拠し試験を行った。

## 3. 実験結果および考察

### 3.1 圧縮強度

採取したコンクリート供試体の圧縮強度の結果を Fig. 2 に示す。一般的にコンクリート構造物はブリーディングの影響などで構造物の上部の強度が下部の強度より小さくなる傾向がある。しかし、本研究で調査した構造物には、橋脚の上下などの部位による顕著な強度差は見られなかつ

た。また、橋脚 No. 8 の平均圧縮強度は21.0N/mm<sup>2</sup>であり、No. 9 は 32.0N/mm<sup>2</sup>、No. 10 は 31.8N/mm<sup>2</sup>であった。すべての橋脚の平均圧縮強度は 28.3N/mm<sup>2</sup> と70年経過したコンクリートとしてはかなり高い強度を示した。

### 3.2 推定圧縮強度

Fig. 3 にシュミットテストハンマーを用いた推定圧縮強度試験の結果を示す。また、Fig. 4 に圧縮強度と推定圧縮強度の関係を示す。橋脚 No. 8 の推定圧縮強度の平均は 24.4N/mm<sup>2</sup>、No. 9 は 29.9N/mm<sup>2</sup>、No. 10 は 27.2N/mm<sup>2</sup> となった。また、すべての橋脚の平均推定圧縮強度は 27.2N/mm<sup>2</sup> となった。

これらの結果の傾向は圧縮強度の傾向と類似しており両者の関係は相関係数0.83という高い相関性が見られた。

### 3.3 単位容積質量

コア供試体の単位容積質量の結果を Fig. 5 に示す。単位容積質量は施工状態やひび割れなどの劣化により値が異なると考えられるが、どの橋脚においても橋脚部位による単位容積質量の値に差は見られなかった。この値より、橋脚自体のコンクリートの品質は均質であると考えられる。橋脚 No. 8 の平均単位容積質量は 2.51t/m<sup>3</sup>、No. 9 は 2.36t/m<sup>3</sup>、No. 10 は 2.39t/m<sup>3</sup> という結果を示した。また、橋脚すべての平均は 2.42t/m<sup>3</sup> となった。この値は土木学会コンクリート標準示方書の鉄筋コンクリートの単位容積質量の値と類似しており、セメントや骨材の品質の良さを示すものであると考えられる。

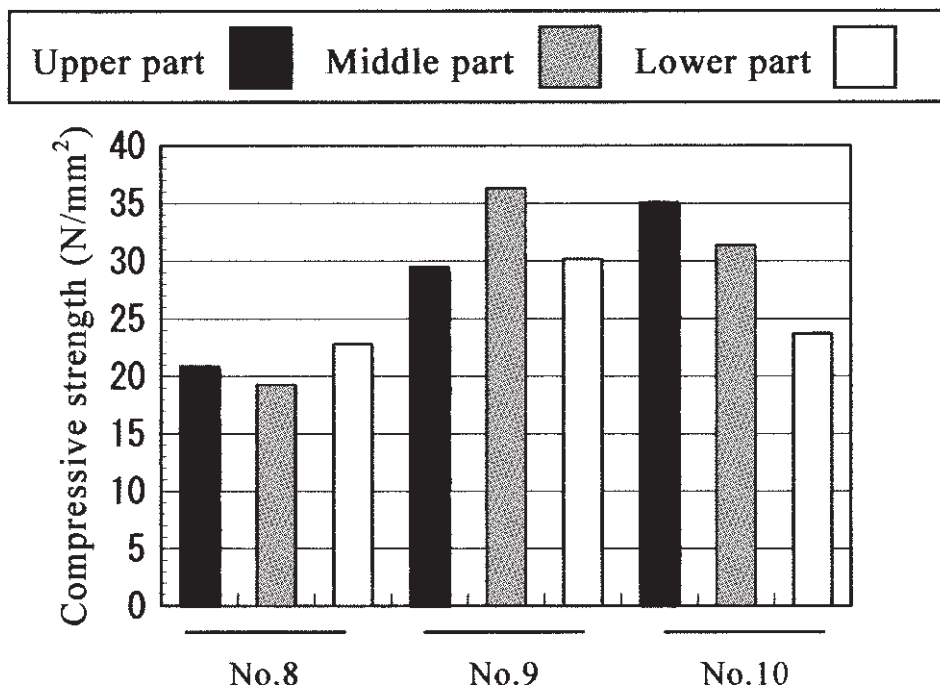


Fig. 2 Compressive strength of cored concrete samples

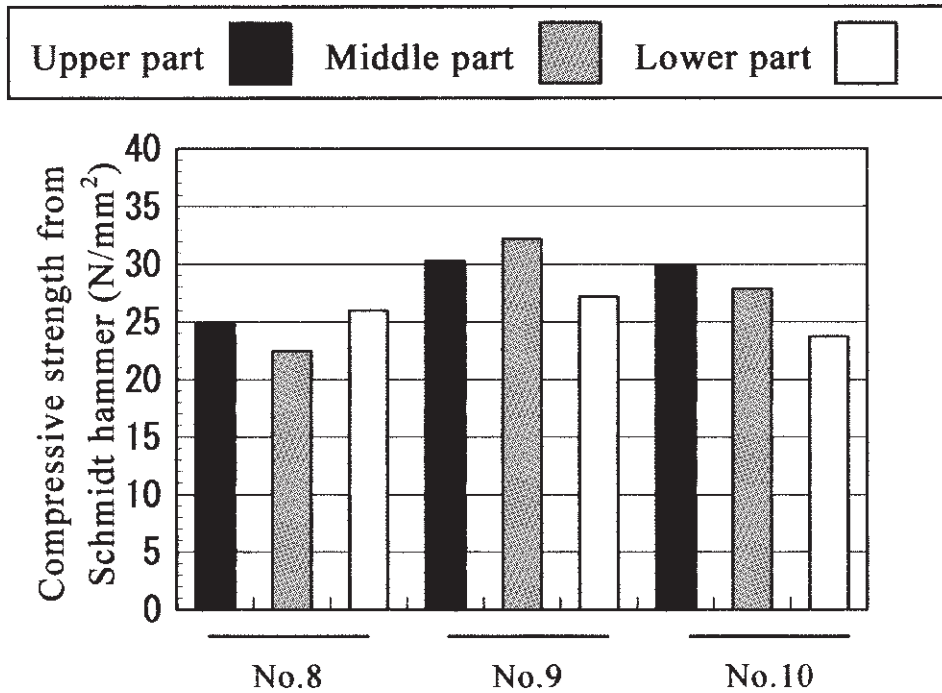


Fig. 3 Compressive strength inferred from schmidt hammer of cored concrete samples

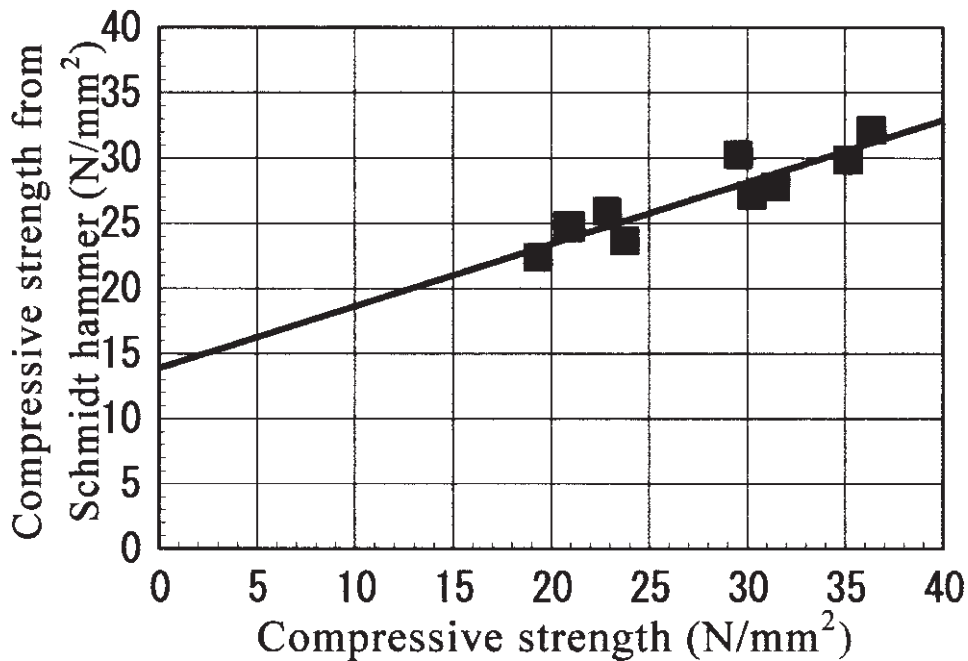


Fig. 4 Relation between compressive strength inferred from Schmidt hammer and compression tests

### 3.4 縦波伝播速度

コア供試体の縦波伝播速度の結果を Fig. 6 に示す。この縦波伝播速度は単位容積質量と同じような傾向を示し、橋脚の調査位置による値に大きな差は見られなかった。橋脚 No. 8 の平均縦波伝播速度は 4.18km/sec であり、No. 9 は 4.48km/sec、No. 10 の平均は 4.42km/sec であった。すべての橋脚の平均は 4.36km/sec であった。また、すべての橋脚の平均縦波伝播速は 4.0km/sec 以上の値を

示した。これは ASTM の「縦波伝播速度とコンクリート品質の関係」に示されている数値と比較すると、このコンクリートの品質は良質であると判断される。また、圧縮強度と縦波伝播速度の関係を Fig. 7 に示す。圧縮強度と縦波伝播速度の相関係数は 0.65 という値を示した。

### 3.5 動弾性係数

Fig. 8 にコア供試体の動弾性係数の結果を示し、Fig. 9

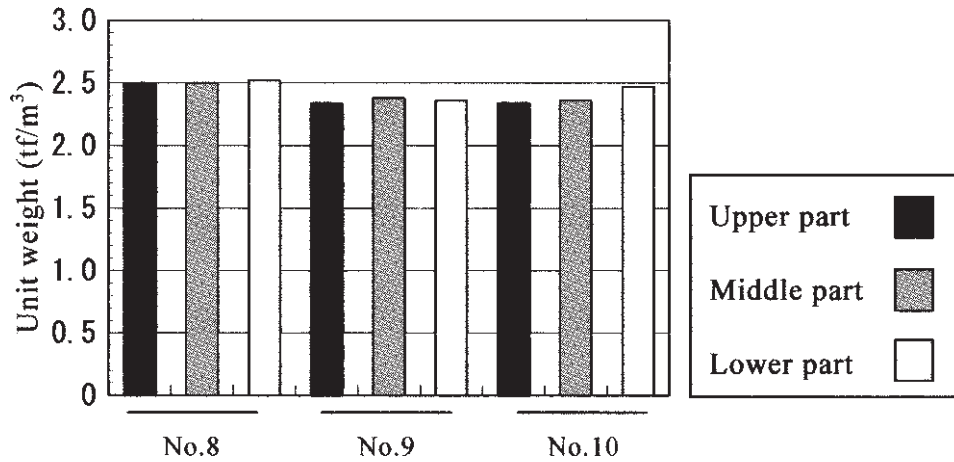


Fig. 5 Unit weight of cored concrete samples

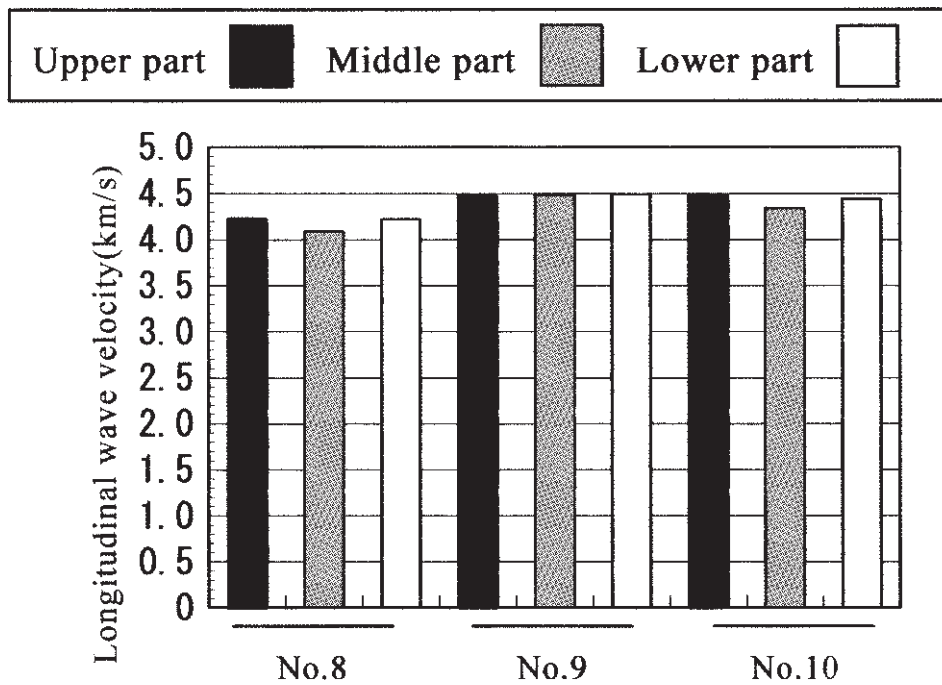


Fig. 6 Longitudinal wave velocity

に圧縮強度と動弾性係数の関係を示す。橋脚 No. 8 の平均動弾性係数は  $2.71 \times 10^4 \text{N/mm}^2$  であり、No. 9 は  $3.37 \times 10^4 \text{N/mm}^2$ 、No. 10 の平均は  $3.29 \times 10^4 \text{N/mm}^2$  であった。

橋脚の動弾性係数の平均値は  $2.0 \times 10^4 \text{N/mm}^2$  という値を示した。動弾性係数と圧縮強度との関係を見ると、相関係数 0.74 という値を示した。

### 3.6 中性化深さ

コア供試体の中性化深さの結果を Fig. 10 に示す。本研究で調査した構造物は建設されてから70年経過していることから二酸化炭素などの影響を多く受け、化学的な劣化が進行していることが想定される。そこで、本研究ではこの構造物の中性化深さを岸谷の式より推測した。岸谷の式を(1)に示す。

$$t = \frac{0.3(1.15 \times 3x)}{R^2(x-0.25)^2} c \quad (1)$$

$t$  : 経過年数       $x$  : 水セメント比

$R$  : 中性化比率       $c$  : 推定中性化深さ

経過年数  $t$  は70年、水セメント比  $x$  は50%と仮定した。中性化比率はコンクリートの種類、使用骨材および表面活性剤の種類などから決定される。橋脚で使用したコンクリートの種類は普通コンクリート、使用骨材は川砂・川砂利を使用した場合の中性化比率を1.0とし中性化深さを推測した。その結果、推測値は5.5mmという結果が得られた。

Fig. 10 と推測値を比較するとすべての橋脚の中性化深さは5.5mm以上の値を示した。また、中性化深さの最大値は39.0mm、最小値は12.2mm、平均値は29.4mmと



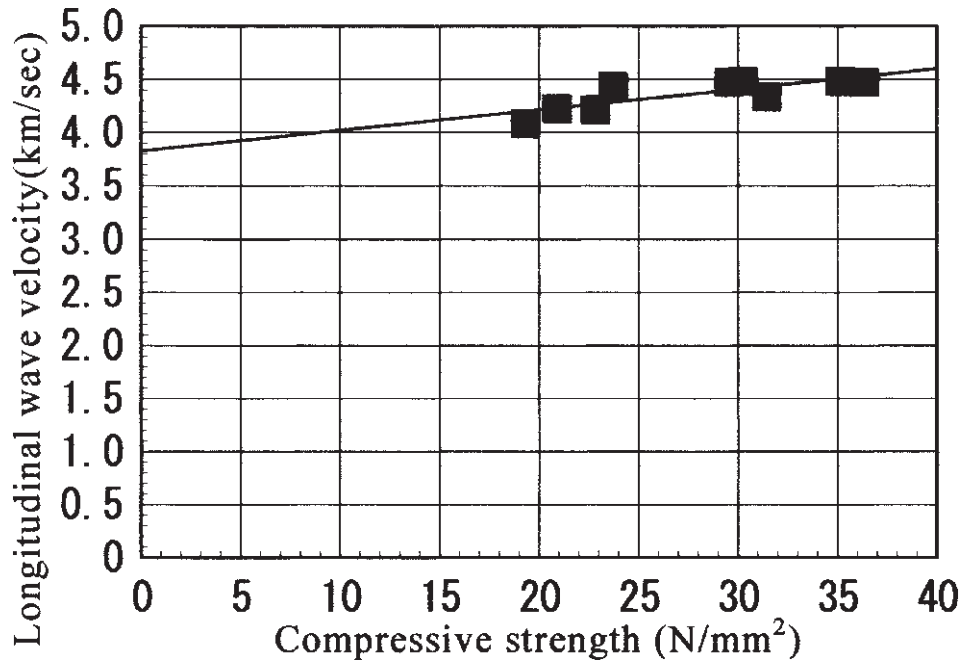


Fig. 7 Relation between compressive strength and longitudinal wave velocity

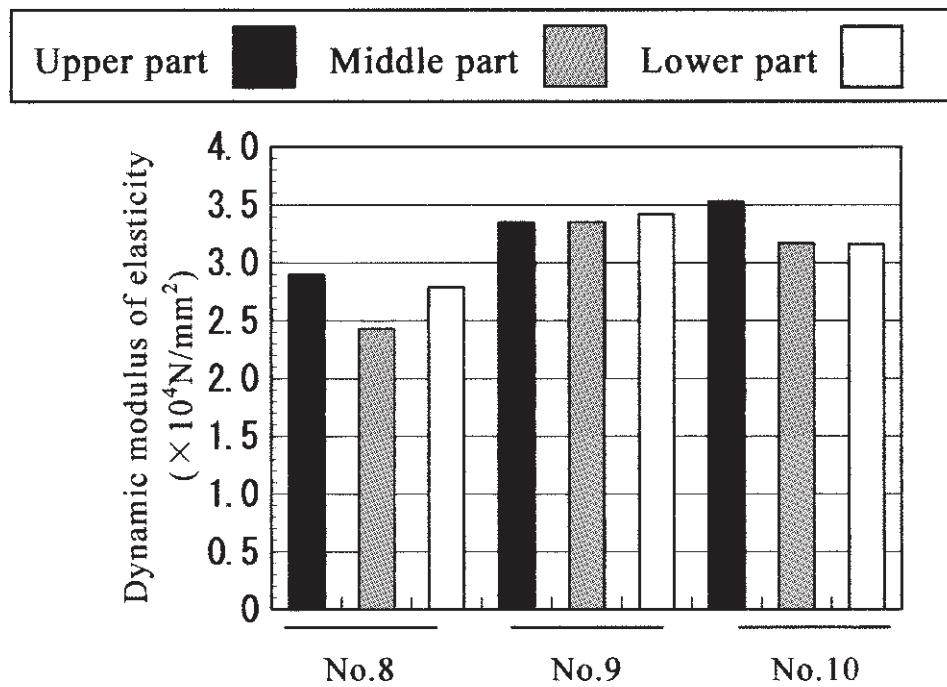


Fig. 8 Dynamic modulus of elasticity of cored concrete samples

いう結果を示し、すべての橋脚の値に対し推測値を超える結果となった。この要因としては、構造物が市街地にあることや、JR 東海道本線を跨ぐ路面電车道、近年では車道橋であることから二酸化炭素の影響を多く受け、このように中性化深さが大きくなったと考えられる。

### 3.7 鉄筋の物理的性質

鉄筋の試験結果を Table 3 に示す。採取した鉄筋を目視

により腐食性状を見ると、過度な劣化は見られず表面に斑点状の浮き錆が見られる程度であった。降伏点強度については、288~318N/mm<sup>2</sup>の値を示した。引張強さは425~458N/mm<sup>2</sup>の値を示した。また、弾性係数については196~206kN/mm<sup>2</sup>の値を示した。本研究で調査した鉄筋の直径は約22mmの丸鋼であるが、この鉄筋をJIS G 3112の鉄筋コンクリート用棒鋼の規格にあるSR295(径16mm以上)と比較をすると、降伏点強度の場合橋脚 No. 8 につい

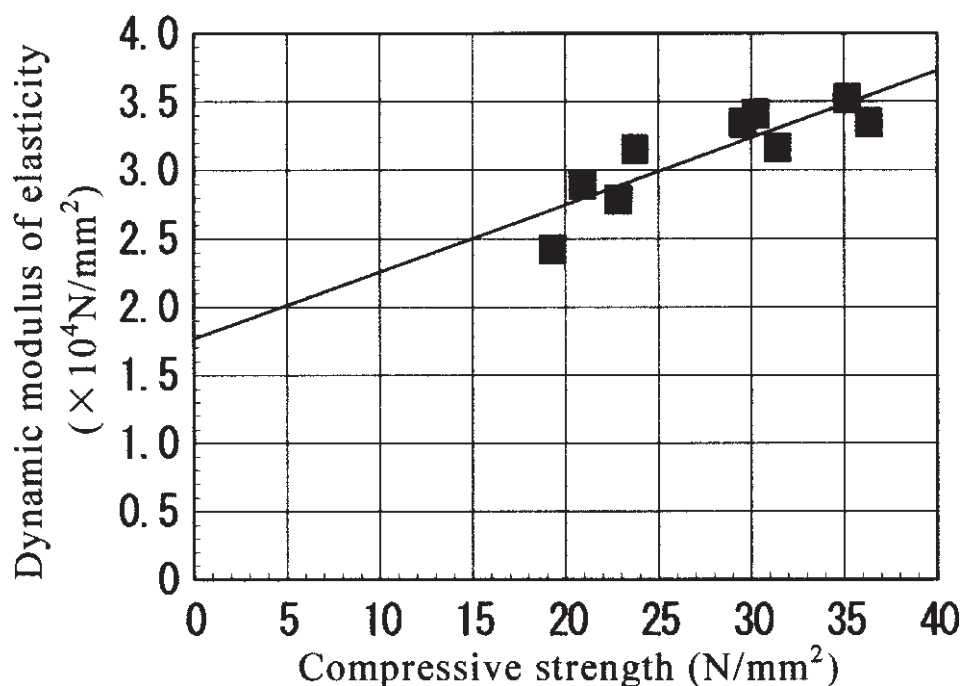


Fig. 9 Relation between compressive strength dynamic modulus of elasticity

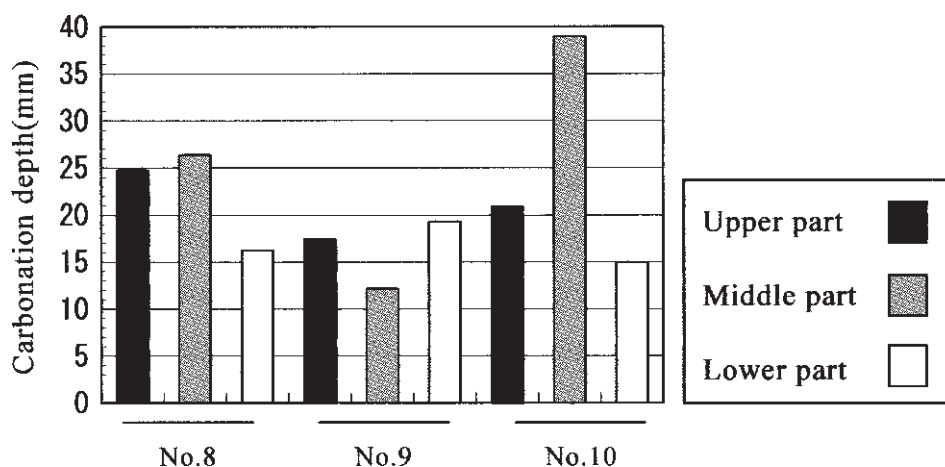


Fig. 10 Carbonation depth of cored concrete samples

Table 3 Physical and mechanical tests for reinforcing bar

Sample number	No. 8	No. 9	No. 10
Unit weight (tf/m <sup>3</sup> )	7.85	7.85	7.54
Variation of cross section (%)	54.98	13.99	20.03
Yield point (N/mm <sup>2</sup> )	318.08	288.14	290.41
Tensile strength (N/mm <sup>2</sup> )	450.17	425.14	458.08
Elongation (%)	18.33	15.00	10.56
Elastic modulus (kN/mm <sup>2</sup> )	205.93	213.14	196.23
Rate of corrosion area (%)	22.95	19.61	23.03

ては規格を満足する結果となったが、No. 9 と10については基準を下回る結果となった。また、引張強さにおいては、採取した鉄筋すべてにおいて規格を満たす結果となった。伸びについてはすべての鉄筋において基準を下回る結

果となった。

鉄筋の表面の腐食面積率は19.6～23.0%の値を示した。鉄筋を採取した橋脚のコンクリートのかぶり深さは約50 mmであるが、コンクリートの中性化深さが平均29.4

**Table 4** Chemical analysis of concrete samples

Sample number	CaO (%)	insol (%)	ig-loss (%)	oven-dry particle density (t/m <sup>3</sup> )
No. 8	8.10	79.0	5.84	2.28
No. 9	8.60	74.0	5.47	2.29
No. 10	7.90	76.6	7.51	2.29

**Table 5** Inferred constituents of concrete mixture from tests

Sample number	W/C (%)	s/a (%)	W (kgf/m <sup>3</sup> )	C (kgf/m <sup>3</sup> )	S (kgf/m <sup>3</sup> )	G (kgf/m <sup>3</sup> )
No. 8	39	48	109	277	910	986
No. 9	35	48	107	311	898	972
No. 10	55	48	150	274	896	970

mm であることから、この鉄筋の腐食は外部からの劣化因子の浸透によるものであると考えられず、施工前からの錆の存在による腐食であると考えられる。

### 3.8 配合推定試験

各橋脚のコンクリートの化学分析値と絶対比重を Table 4 に示す。また、採取したコンクリートの配合推定試験結果を Table 5 に示す。なお、本研究で行った配合推定試験については建設当時の使用材料を入手することが困難なため仮定分析値を一部使用し検討を行った。水セメント比については、橋脚 No. 8 については39%となり、No. 9 については35%、No. 10 については55%という結果となった。配合推定の結果は仮定しなくてはならない要素があることや、採取試料の条件などにも起因するため参考程度の扱いとなるが、配合推定したコンクリートの単位セメント量は274~311kg/m<sup>3</sup> という値となり、単位水量は非常に小さい107~150 kg/m<sup>3</sup> という結果が得られた。また、橋脚 No. 8 と No. 9 の水セメント比は小さくこのような配合条件であるとワーカビリティが少なく施工が困難であると考えられる。

## 4. まとめ

70年経過した鉄筋コンクリート構造物のコンクリート部分と鉄筋について調査した結果を以下のような結論が得られた。

コンクリートの品質は設計基準強度が不明なため初期強度と比較することはできないが、圧縮強度や非破壊試験などの結果から70年経過しても十分な強度を有していること

がわかった。また、単位容積質量や縦波伝播速度の結果からもコンクリートの品質は良質なものであると判断された。しかし、中性化深さは推測値よりも大きくなり、環境的な背景からも二酸化炭素などの劣化要因の影響を大きく受けているものと考えられる。

採取した鉄筋については、表面部分の劣化は見られず腐食程度は微小であると考えられる。これは、コンクリートのかぶり深さが適切に設定されており、劣化因子が鉄筋まで浸透していなかったことからこのような結果になったと考えられる。また、物理的性質などは現在の規格にある丸鋼と比較すると約80%程度の基準を満たしており鉄筋の物理的劣化は見られなかった。

総合的に見て、70年経過した鉄筋コンクリート構造物の橋脚部分のコンクリートは十分な強度を示しており、鉄筋についても大きな劣化は見られなかった。

### 参考文献

- 小嶺啓蔵・鶴田浩章・高場正富・真崎洋三 (2000): 60年間供用されたコンクリート橋の材料調査について、コンクリート工学年次論文集, Vol. 22, No. 1.
- 真崎洋三・吉田須直・浅利公博・植田定 (2002): 約45年供用されたコンクリート道路橋の残存機能に関する調査、コンクリート工学年次論文集, Vol. 24, No. 1.
- 西垣義彦・小門前亮一・奥田由法・鳥居和之 (2002): 日本最初の PC 橋—長生橋の耐久性調査、コンクリート工学年次論文集, Vol. 24, No. 2.
- 田山育太郎 (1993): 硬化コンクリートの配合推定試験、建材試験情報8, 37-41.
- 喜多達夫 (1986): 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、東京、112.



## 要 旨

近年我が国では構造物の維持管理が注目されており、構造物を補修・補強し耐久性維持が今後多く行われると予想される。近年では施工不良などの問題により構造物の早期劣化が問題となっているが、建設されてから長期間経過した構造物の耐久性について調査することは、コンクリートの性質や今後の補修内容や施工を行うに当たり有益であると考えられる。本研究調査した構造物は、約70年経過しており、繰り返し荷重による疲労や、様々な劣化要因などにより化学的にも劣化していることが考えられる。そこで、本研究ではこの70年経過した構造物の橋脚部分からコンクリートのコア供試体と鉄筋を採取し調査を行った。その結果、コンクリート部の圧縮強度は $28.3\text{N/mm}^2$ の強度が見られ、70年経過したコンクリートとしてはかなり高い強度が見られた。しかし、中性化深さは推測値よりも大きな値を示し化学的には劣化が見られた。また、採取した鉄筋は顕著な劣化は見られず鉄筋の腐食は微量であった。総合的に判断して70年経過した構造物のコンクリート部分は十分な強度を示しており、鉄筋についても過度な腐食は見られなかった。