

報告 実態調査に基づく既設構造物のコンクリート強度分布に関する考察

松橋 宏治^{*1}・谷村 幸裕^{*2}・曾我部 正道^{*3}

要旨：既設鉄道 RC ラーメン高架橋の柱部材 4 本を対象に、コア採取によるコンクリートの圧縮強度、およびテストハンマーを用いて反発度を測定し、これらの柱高さ方向分布について調査した。その結果、柱部材ではブリーディングの影響を受ける打継位置直下のコンクリート強度は、最深部の強度に比べ最低で 1/2 程度まで低下し、設計基準強度を下回る場合もあることを確認した。また、本調査結果の線形回帰式を用いて、テストハンマーの反発度により圧縮強度の推定を行った結果、推定誤差は概ね±20%の範囲であったが、打継位置の上下で、強度が著しく変化する部位では推定精度が低下した。

キーワード：コンクリート強度分布、既設構造物、ラーメン高架橋、柱部材

1. はじめに

耐震診断や健全度診断など、既設 RC 構造物を維持管理する上で、コンクリート強度を把握することは非常に重要な項目の一つである。既設構造物のコンクリート強度は、対象構造物から採取したコアの圧縮強度試験により得るのが一般的な方法である。しかしながら、コンクリート強度は部材や部位により少なからずばらつくことが報告されており¹⁾、また費用や時間の制約により一時期に行えるコア採取の箇所数は限定されるため、コア採取のみでは場合によってはコンクリート強度の妥当な評価が行えない恐れがある。これに対し、より簡易に多くの部位を測定できる方法として、テストハンマーの反発度を利用した強度推定法があるが、既設構造

物に対しては推定精度の面で確立された推定式が無いのが現状である。一般的には、同一箇所から採取したコアの圧縮強度試験との関係を用いて強度推定を行うが、その具体的な適用法については明確でない。

そこで、本報告では図-1 に示す形状寸法をなす鉄道 RC ビームスラブ式ラーメン高架橋の柱部材に対し、採取したコアの圧縮強度試験を実施することにより、コンクリート強度の柱高さ方向分布について調査した。また、テストハンマーの反発度の測定も同時に実施し、これによるコンクリート強度の推定値とコア強度とを比較することにより、その推定誤差について検討した。

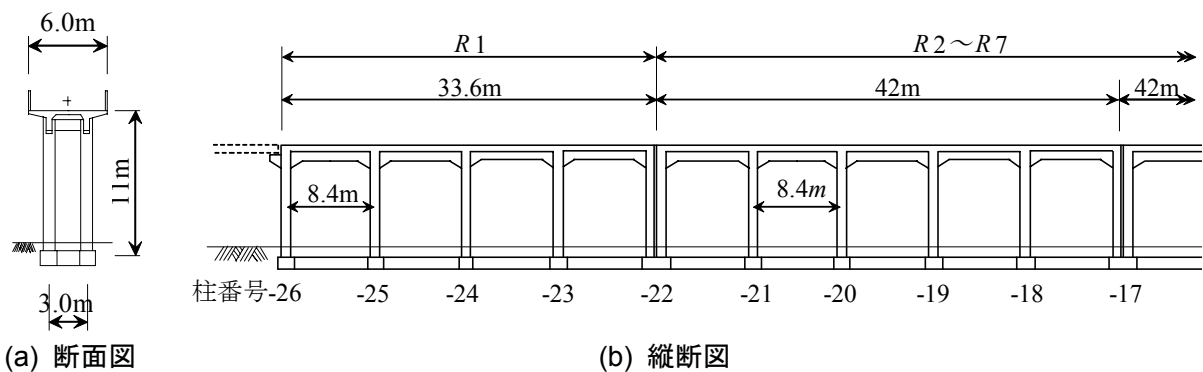


図-1 対象構造物の形状・寸法

*1 (財) 鉄道総合技術研究所 構造物技術研究部 コンクリート構造 工修 (正会員)
 *2 (財) 鉄道総合技術研究所 構造物技術研究部 コンクリート構造 博 (工) (正会員)
 *3 (財) 鉄道総合技術研究所 鉄道力学研究部 構造力学 博 (工) (正会員)

2. 調査対象構造物

調査対象は図-1 に示す通り、ほぼ同形状のラーメン高架橋 7 基 (R1~R7 ブロック) からなる延長約 300m の範囲から、ブロックの異なる 4 本の柱 (以下、C1~C4 柱 とする) を選定し、これらに対し同様の調査を行った。また、本高架橋は建設後 28 年が経過しており、設計図書よりコンクリートの設計基準強度が $f_{ck}=27N/mm^2$ であることは明らかとなっているが、その他コンクリート材料に関する情報は現存していない。

3. 調査方法

3.1 コア採取および圧縮試験

本調査では、表-1 に示す位置に対し、合計 33 箇所のコアを採取した。図-2 に、C1 柱におけるコア採取位置図を示す。

表-1 コア採取位置とコア径

柱	高さ位置H mm	コア径φ mm
C1	600	45
	1200	45
	1800	45
	3000	100
	3600	100
	4800	100
	6000	100
C2	7200	100
	600	45
	1200	45
	1800	45
	3000	45
	3600	45
	4900	45
C3	6100	45
	7000	45
	1000	100
	2000	100
	2800	100
	4000	100
	4900	100
C4	5900	80
	6500	100
	6900	80
	1200	45
	2000	45
	2600	45
	3200	100
C4	3500	80
	4600	80
	5200	100
	6500	80
	7200	100

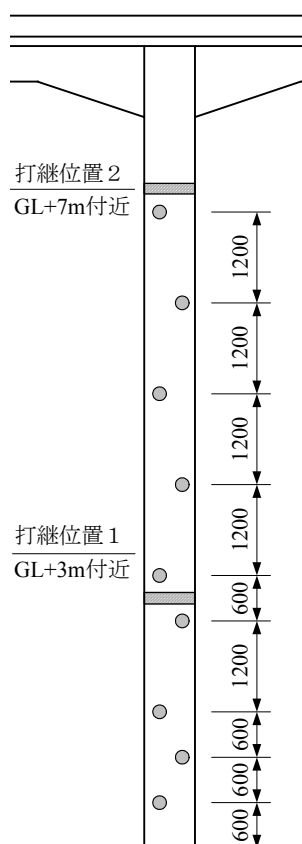


図-2 C1 柱のコア採取位置 (単位:mm)

採取したコアを用い、JIS A1107 および JIS A1149 に従い、圧縮強度試験および静弾性係数試験を実施した。コアの直径については、φ100mm と φ45mm の 2 種類とし、表-1 に示す位置に対しそれぞれの径のコアを採取した。ここで、φ45mm のコアビットは、配筋が密な箇所に対して用いたもので、使用するコア径のは事前に RC レーダーにより鉄筋の位置を確認した上で選択した。

3.2 テストハンマー反発度の測定

テストハンマー反発度の測定箇所は、前述したコア採取箇所に準じた。また、テストハンマーには表-2 に示す製造メーカーおよび点検方法の異なる 2 種類 (ハンマーA, ハンマーB) を使用し、圧縮強度の推定精度の機種による比較を行うこととした。なお、事前のテストアンビルによる点検結果は、両者とも良好であった。また、測定方法は、「JSCE-G 504-1999 硬化コンクリートのテストハンマー強度の試験方法」²⁾ に従い、同一箇所におけるハンマーA, B の打撃箇所は図-3 に示す通りとした。

表-2 使用したテストハンマーの点検方法

	点検方法
ハンマーA (A 社製)	A 社製の標準アンビル (反発度 80) 低反発アンビル (反発度 30) を用いた 2 点による点検
ハンマーB (B 社製)	B 社製の標準アンビル (反発度 80) のみを用いる点検

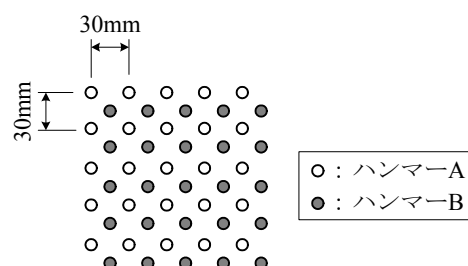


図-3 1 箇所あたりのテストハンマーの打撃点

4. 調査結果

4.1 コアの圧縮試験結果

表-3 に採取したコアの圧縮試験より得られた、圧縮強度 f_c 、静弾性係数 E を示す。柱ごとの平均値による比較では、C1 柱が $f_c=31.4\text{N/mm}^2$ と最も小さく、その他の柱は $f_c=36\text{N/mm}^2$ 程度とほぼ同じであった。

なお、 $\phi 45\text{mm}$ コアの強度は、表-4 に示す通り $\phi 100\text{mm}$ コアの強度に比べ若干高めであったため、その比の平均値 0.938 を乗じて補正した。

また、図-4 に圧縮強度 f_c と静弾性係数 E の関係について示す。図中には、コンクリート標準示方書 [構造性能照査編] に示された関係も併せて示した。本高架橋のコンクリート静弾性係数は、コンクリート標準示方書に示された同一圧縮強度の値を全て下回った。

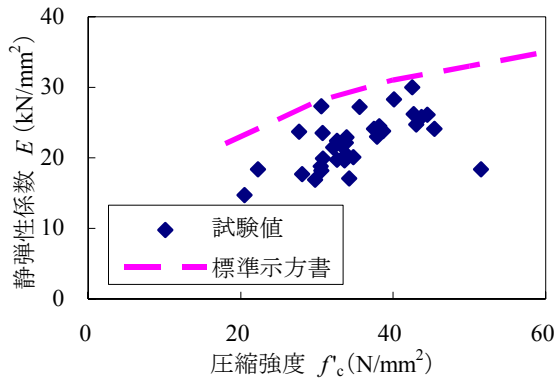


図-4 圧縮強度と静弾性係数の関係

4.2 テストハンマー反発度の測定結果

柱の高さ方向へテストハンマー反発度を測定した結果を表-5 に示す。表-5 より平均値を見ると、ハンマーBの反発度はハンマーAに比べ2~3程度大きい値が得られる傾向にある。

また、図-5 には、柱の地上1m位置におけるテストハンマーの反発度を、橋軸方向に連続してハンマーAにより測定した結果を示した。高さ方向の測定を行った柱の反発度については白抜きのプロットで示しており、これに対応するコアの圧縮強度についても図中に示した。図-5 に示す測定結果は最大値 51.1、最小値 44.1、平均値 48.0、標準偏差 2.1 であった。

表-3 コアの圧縮試験結果

柱 No.	測定箇所数		圧縮強度	静弾性係数
			$f_c (\text{N/mm}^2)$	$E (\text{kN/mm}^2)$
C1	9	最大値	43.7	25.8
		最小値	22.2	17.1
		平均値	31.4	20.7
		標準偏差	5.8	3.2
C2	8	最大値	42.7	30.0
		最小値	20.5	14.7
		平均値	36.6	24.4
		標準偏差	7.1	4.9
C3	8	最大値	45.4	27.3
		最小値	30.5	18.8
		平均値	36.3	23.2
		標準偏差	5.7	2.5
C4	8	最大値	51.5	26.1
		最小値	29.8	16.9
		平均値	36.5	20.8
		標準偏差	7.5	2.9
全体	33	最大値	51.5	30.0
		最小値	20.5	14.7
		平均値	35.1	22.2
		標準偏差	6.7	3.7

表-4 $\phi 45\text{mm}$ コアに対する強度の補正

柱 No.	高さ位置 H (mm)	圧縮強度 $f_c (\text{N/mm}^2)$		強度比 $f_{\phi 100}/f_{\phi 45}$
		$\phi 100$	$\phi 45$	
C4	1200	33.8	35.4	0.955
			35.0	0.966
			37.8	0.894
	1800	32.5	34.7	0.937
平均				0.938

表-5 テストハンマー反発度の測定結果

柱 No.	測定箇所数		反発度 R_o	
			ハンマーA	ハンマーB
C1	9	最大値	48.7	49.8
		最小値	41.5	45.2
		平均値	45.3	47.7
		標準偏差	2.5	1.4
C2	8	最大値	49.7	52.9
		最小値	42.3	44.4
		平均値	46.5	49.4
		標準偏差	2.8	3.4
C3	8	最大値	48.1	51.2
		最小値	43.9	45.6
		平均値	45.6	48.2
		標準偏差	1.5	1.9
C4	8	最大値	50.8	52.3
		最小値	44.8	48.4
		平均値	47.8	50.7
		標準偏差	1.8	1.5
全体	33	最大値	50.8	52.9
		最小値	41.5	44.4
		平均値	46.3	49.0
		標準偏差	2.4	2.4

5. コンクリート強度分布に関する考察

5.1 柱高さ方向の強度分布

図-6 に採取したコアの圧縮試験強度の柱高さ方向の分布を示す。

圧縮強度は、図中に一点鎖線で示した打継位置 1 の直上で大きく、打継位置 2 の直下で小さい傾向が見られ、その強度比（打継位置 2 直下 / 打継位置 1 直上）は最小で 0.5 程度であった。これは、打継位置の直下ではブリーディング等により強度が低下し、最深部では自重による圧密効果で強度が増加するという、既往の報告¹⁾と同様の傾向である。特に強度の低かった C1, C2 の打継位置 2 の直下では、設計基準強度 $f_{ck} = 27 \text{ N/mm}^2$ の 75% 程度の強度となっている。

また、打継位置直上、直下以外の中間部の強度分布形状にも、下方ほど強度が大きい傾向の見られる場合が多い。

5.2 柱高さ方向のテストハンマー反発度分布

図-7(a) (b) に、テストハンマー反発度の柱高さ方向分布を示す。ハンマー A とハンマー B との比較では、両者は概ね相似形をなしている。また、反発度の高さ方向分布には、若干ではあるが、打継位置の直下で小さく下方に向かって大きくなる傾向が見られる。

6. テストハンマー反発度による圧縮強度の推定に関する検討

ここでは、本調査結果に基づき、テストハンマー反発度 R_o により推定した圧縮強度の推定誤差について検討する。圧縮強度の推定値 f_R は、本調査で得られた反発度とコア圧縮強度の関係から最小二乗法で線形回帰により算定することとした。

図-8 にテストハンマー反発度 R_o とコアの圧縮強度の関係を示す。各々のハンマーに対する線形回帰式は式 (1), (2) の通りである。

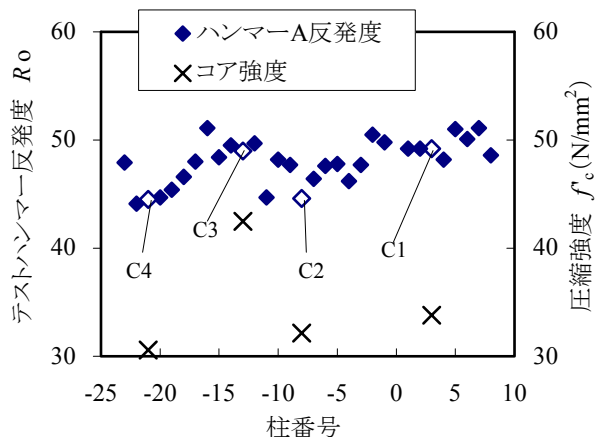


図-5 柱の地上 1m 付近におけるテストハンマー反発度の線路方向連続測定結果

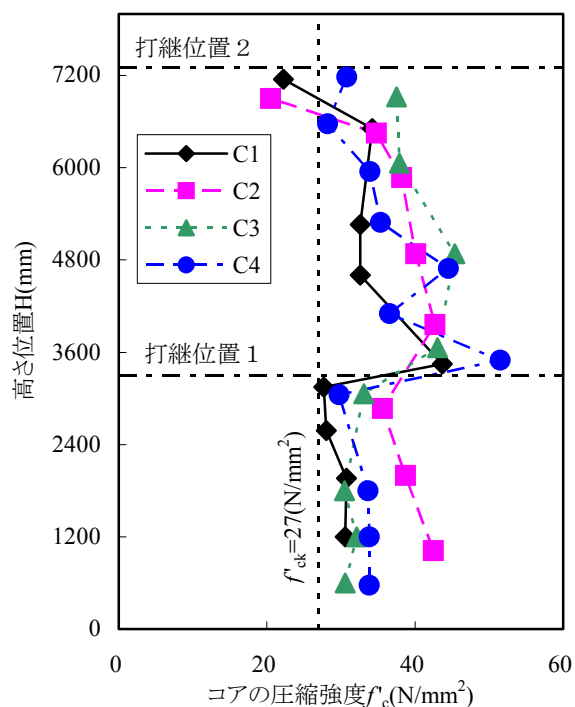
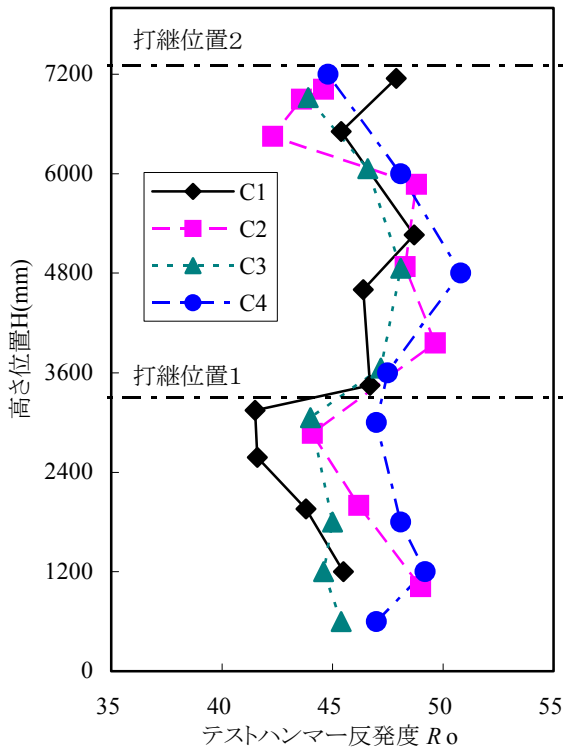


図-6 柱高さ方向の圧縮強度分布

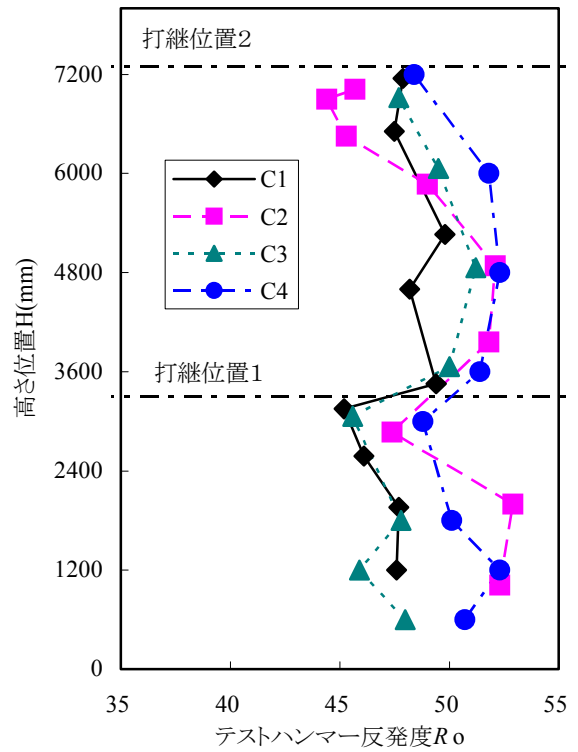
$$\text{ハンマーA} : f_R = 1.4 \cdot R_o - 32.0 \quad (1)$$

$$\text{ハンマーB} : f_R = 1.9 \cdot R_o - 55.6 \quad (2)$$

次に、式 (1), (2) に示した推定式により算定した、圧縮強度の推定値 f_R について、算定結果を表-6 に示す。



(a) ハンマー-A の反発度



(b) ハンマー-B の反発度

図-7 テストハンマー反発度の柱高さ方向分布

表-6 より、推定値 f_R はコア強度の最大値に対しては過小評価し、最小値に対しては過大評価している。また標準偏差は、何れのテストハンマーによる推定値もコア強度を下回っている。

図-9 (a) (b) には、C1 柱および C4 柱における推定値 f_R とコア強度 f_c の高さ方向分布を示した。推定値とコア強度の差は、打継位置 1 の直上および打継位置 2 の直下において非常に大きく 15N/mm^2 程度生じており、その他の部位については 5N/mm^2 程度以下となっている。図-10 には、推定値とコア強度との関係を示した。これより、コア強度に対する推定値の誤差は、一部を除き $\pm 20\%$ の範囲におさまっている。図-10 において推定誤差が $\pm 20\%$ の範囲から外れているデータは、前述した通り、打継位置 1 の直上でコア強度が非常に大きくなっている箇所、および打継位置 2 の直下でコア強度が非常に小さくなっている箇所に対するものである。

また、ハンマー-A とハンマー-B とで、推定精度に大きな差は見られなかった。

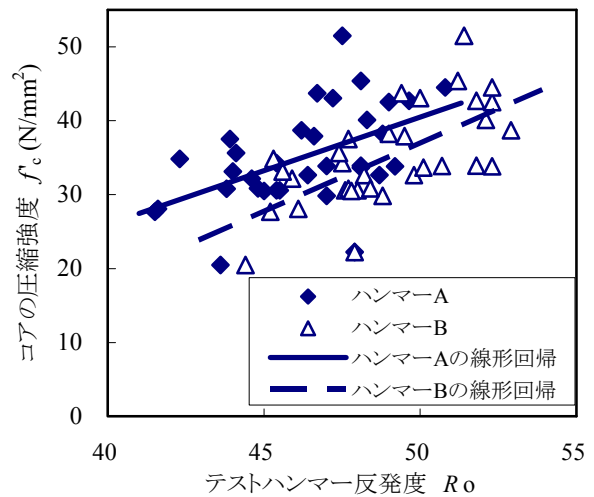


図-8 テストハンマー反発度と圧縮強度の関係

表-6 圧縮強度推定値のまとめ (N/mm^2)

	コアの圧縮強度 f_c	推定値 f_R	
		ハンマー-A	ハンマー-B
最大値	51.5	41.6	42.3
最小値	20.5	28.2	26.6
平均値	35.1	35.1	35.1
標準偏差	6.7	3.4	4.4

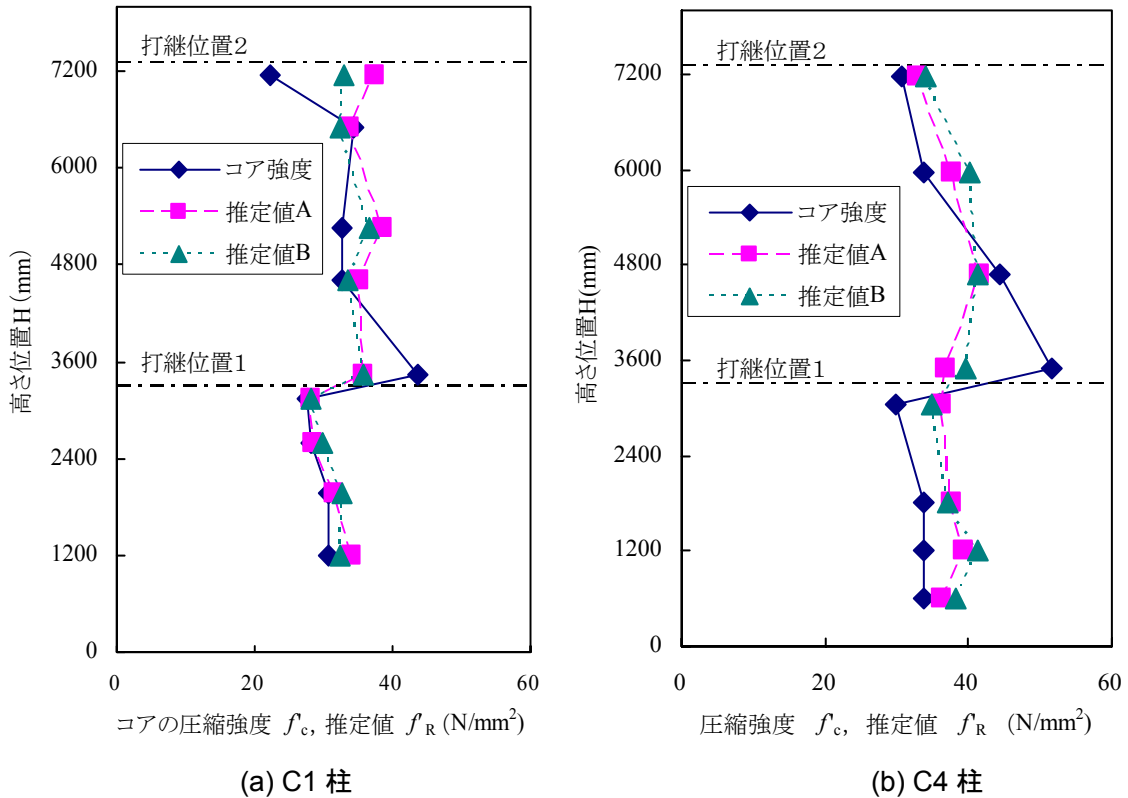


図-9 圧縮強度推定値の柱高さ方向分布

7. まとめ

建設後 28 年が経過した既設鉄道 RC ラーメン高架橋の柱部材 4 本に対し、33 箇所のコア採取による圧縮強度試験，およびテストハンマー反発度の測定を行った。その結果を以下にまとめる。

- (1) 柱高さ方向のコンクリート強度分布は、打継位置の直下ではブリーディングの影響により強度が小さく、設計基準強度を下回る場合もあること、最深部では自重による圧密効果で強度が大きくなる傾向が確認された。また、上下の強度比は最小で 0.5 程度であった。
- (2) 本調査結果の線形回帰式を用いて、テストハンマーの反発度による圧縮強度の推定を行った結果、推定誤差は概ね±20%程度の範囲であったが、打継位置の直上や直下において、コンクリート強度が著しく高いまたは低い場合には、推定精度がさらに低下する。

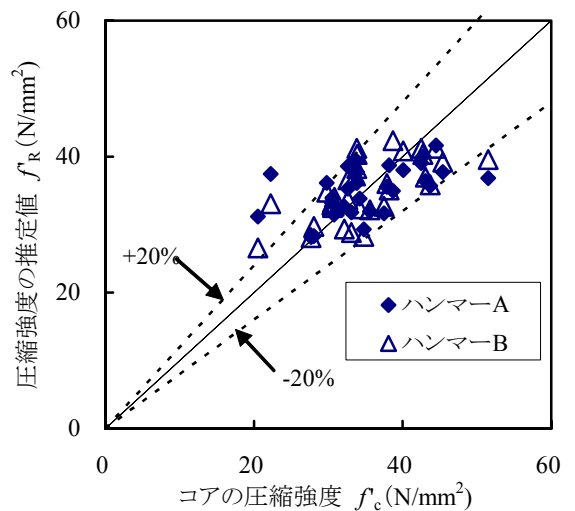


図-10 圧縮強度の推定値とコアの圧縮強度

参考文献

- 1) 日本建築学会：構造体コンクリート強度に関する研究の動向と問題点，Vol.17，No.5，pp.77-94，1987.11
- 2) 土木学会：コンクリート標準示方書[規準編] 土木学会規準および関連規準，pp234～246，2005.3