

論文 充填材を各種変えた RC 柱の鋼板巻き補強の交番載荷の実験的研究

松田 芳範*¹・菅野 貴浩*²・大庭 光尚*³・石橋 忠良*⁴

要旨：耐震補強として行われるRC柱の鋼板巻き補強の変形性能について充填材を各種変えた場合の影響を解明するために、試験体による正負交番載荷試験を行った。その結果、無補強のRC柱に対し鋼板巻き補強の充填材の拘束効果によって変形性能が向上し、じん性率の改善が図られることが確認された。

キーワード：充填材料，じん性率，耐震性，鋼板巻き補強

1. はじめに

阪神・淡路大震災により既設高架橋に多くの被害が生じた。今後、設計震度の見直し等の研究が行われているところであるが、既設高架橋に対しての補修・補強を行うことが必要とされている。既設高架橋の耐震補強方法として、鋼板巻き補強による対策が行われており、各種試験によりその効果も確認されているところであり、補修・補強対策の合理的設計法の確立が切望されている。ここでは、鋼板巻き補強の際に既設構造物と鋼材間に充填される充填材を変えた試験体を用いて正負交番載荷実験を行った結果についてまとめたものである。

2. 実験概要

2.1 試験体諸元

試験体は既設高架橋柱を想定しすべて正方形断面とし、実構造物を模擬した約1/2の模型とした。試験体の形状を図-1に示す。また、試験体の諸元を表-1に示す。試験体は、充填材の効果を明らかにするためせん断破壊が先行するように、帯鉄筋を配置しないこととした（基準試験体No.1）。この基準試験

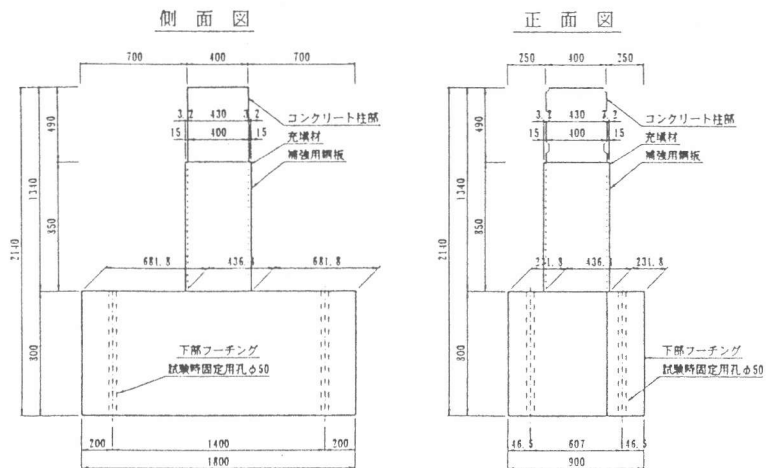


図-1 試験体形状

体に補強鋼材として 3.2mmの鋼板を巻き付けている。コンクリート面と鋼材の間隔は15mmとした。帯鉄筋を配置していない以外の鉄筋比などは既設構造物と同程度としている。

2.2 使用材料

表-2に使用したコンクリートの配合を示す。コンクリートは早強セメントを使用した粗骨材

- * 1 東日本旅客鉄道(株)建設工事事務所構造技術センター，主席（正会員）
- * 2 東日本旅客鉄道(株)上信越工事事務所，工修（正会員）
- * 3 東日本旅客鉄道(株)東北工事事務所，係長（正会員）
- * 4 東日本旅客鉄道(株)建設工事事務所担当部長，工博（正会員）

表-1 試験体諸元

No.	柱断面寸法 b×h (mm)	有効高さ d (mm)	せん断スパン a (mm)	せん断スパン比 a/d	引張鉄筋 鉄筋比 p_t (%)	軸方向鉄筋 鉄筋比 p (%)	帯鉄筋	鋼板厚 t (mm)	あき (mm)	充填材種別
1	400×400	360	1150	3.19	D19×5 $p_t=0.995$	D19×16 $p=2.87$	—	—	—	(無補強)
2	400×400	360	1150	3.19	D19×5 $p_t=0.995$	D19×16 $p=2.87$	—	3.2	15	砂 (水締め)
3	400×400	360	1150	3.19	D19×5 $p_t=0.995$	D19×16 $p=2.87$	—	3.2	15	ソイルセメント
4	400×400	360	1150	3.19	D19×5 $p_t=0.995$	D19×16 $p=2.87$	—	3.2	15	気泡モルタル
5	400×400	360	1150	3.19	D19×5 $p_t=0.995$	D19×16 $p=2.87$	—	3.2	15	高流動 無収縮モルタル

表-2 コンクリートの配合

Gmax (mm)	W/C (%)	s/a (%)	単 位 量 (kg/m ³)				
			水 W	早強セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	減水剤
20	55.2	50.0	160	290	920	941	2.90

最大寸法20mmのレディーミクスコンクリートである。表-3に充填材料の配合表を示す。充填材は、表-1に示すように、摩擦抵抗を期待できない水締めを行った砂、低強度の材料としてソイルセメント、気泡モルタル、充填性能を考慮した高流動型無収縮モルタルの4種類を使用した。コンクリートおよび充填材の載荷試験時における圧縮強度を表-4に示す。また、使用した鉄筋の機械的性質を表-5に示す。

表-3 充填材料配合

(a) 砂

径max (mm)	粗粒率 FM	比 重
5	2.93	2.60

(b) ソイルセメント

W/C (%)	普通セメント (kg)	細骨材 (kg)	水 (kg)	ペントナイト (kg)
125	289	1083	451	72

(c) 気泡モルタル

W/C (%)	普通セメント (kg)	細骨材 (kg)	水 (kg)	気泡群 (ℓ)
50	390	390	195	530

(d) 高流動無収縮モルタル

W/C (%)	普通セメント (kg)	細骨材 (kg)	水 (kg)	高機能AE減水剤 (kg)	増粘剤 (kg)	圧縮強度 (kgf/cm ²)
40	913	913	365	8.687	0.15	400以上

2.3 実験方法

図-2に試験体と載荷状況について示す。実験は、実高架橋に作用している軸応力度を10.0kgf/cm²とし荷重を載荷することとし図に示すよう

に柱頭部に鉛直油圧ジャッキで軸力を与え、交番水平力をアクチュエーターにより柱下端から1,150mmの位置に載荷した。軸力用鉛直ジャッキは試験体が水平変位しても常に同一軸力が作用されるように柱頭部の載荷装置を回転変位可能とし、ジャッキは水平方向のスライド装置を配置して門型フレームに取り付けた。

実験は、解析により求めた降伏荷重(表-6)をもとに、降伏荷重までは荷重制御により行い、降伏荷重以降は引張縁の軸方向鉄筋の歪みが降伏値に達したときの変位(δ_y)の実測値の整数倍を各3回づつの正負交番載荷試験を行った。載荷は最大荷重を過ぎて耐力が低下し、耐力が降伏

表-5 鉄筋の機械的性質

鉄筋径	降伏点 (kgf/cm ²)	静弾性係数 (×10 ⁶ kgf/cm ²)
D19	3820	1.82

荷重を下回るまで行った。

変位は、柱の水平変位として柱下端から 200mm, 400mm, 600mm の位置と載荷点変位を測定した。

3. 実験結果および考察

3.1 ひびわれ

図-3 に試験終了後に鋼板および充填材を取り除いた試験体のひびわれ状況を示す。なお、鋼板を巻いた状態での性状は、すべて曲げ降伏の挙動を示した。

砂の試験体では、荷重載荷方向の並行面(側面)にせん断ひびわれが交錯して発生し載荷点付近から柱下端まで貫通している。荷重載荷面(正面)

には鉛直方向に大きくひびわれが生じ、柱下端付近のコンクリートがひびわれにより大きくブロック状に割れているがはらみだしはみられない。ソイルセメントの試験体は、側面には斜めひびわれが生じているが砂より鉛直方向のひびわれが多くみられる。また、柱下端では若干コンクリートが粉砕し、剥落している。正面側では、水平方向のひびわれが生じているほか補強高さの 1/2 付近から柱下端までかぶりコンクリートが剥離してはらみだしている。気泡モルタルの試験体では、側面には砂と同様のひびわれが生じ、柱下端付近のコンクリートが粉砕している。正面側ではやはり砂と同様のひびわれが発生しており、下端のコンクリートがブロック化して剥落している。高流動無収縮モルタルの試験体は、側面にひびわれは生じているが数も少なくひびわれ幅も小さいが、正面側では、ソイルセメントと同様の傾向を示し、かぶりコンクリートが剥離している。しかし、ソイルセメントと比較すると鉛直方向のひびわれが認められない。破壊性状から砂と気泡モルタルが同様の傾向を示し、ソイルセメントと高流動無収縮モルタルが同様の傾向を示しているがソイルセメントは高流動無収縮モルタルと気泡モルタルの中間的な性状を示していることがわかった。

3.2 荷重-変位関係

各試験体の載荷点における荷重と水平変位の関係を図-4 に示す。また、表-6 に各試験体の

表-4 コンクリートと充填材の載荷時強度

No.	充填材種別	圧縮強度 (kgf/cm ²)	
		コンクリート	充填材
1	無補強基準試験体	282	—
2	砂(水締め)	307	—
3	ソイルセメント	305	26
4	気泡モルタル	307	14
5	高流動無収縮モルタル	305	408

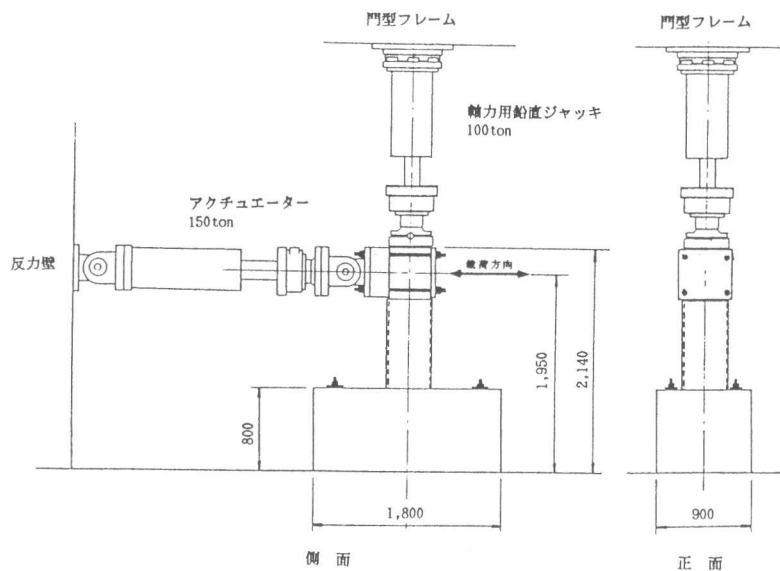


図-2 載荷試験概要

実験結果を示す。表から基準試験体の最大荷重の実測値は22tf程度であり、砂を充填した試験体では、最大荷重が26tf程度で基準試験体と比較し 1.2倍程度の耐力の増加となった。気泡モルタルを充填した試験体では、最大荷重が約27tfと砂より若干上回ったがほぼ同等の耐力であり砂と同様、基準試験体と比較すると 1.2倍程度の耐力の増加が認められた。またソイルセメントを充填した試験体では最大荷重は29tf程度となり、基準試験体の 1.3倍程度、砂、気泡モルタルと比較して 1.1倍程度の耐力の増加が認められた。一方、既設構造物のコンクリート強度以上となる無収縮モルタルを充填した試験体では最大荷重が30tf程度となり、基準供試体の 1.3倍以上の耐力の増加となり、ソイルセメントより若干上回った。鋼板巻き補強を行った各試験体では、実験による最大荷重は、解析による終局荷重とほぼ同等の値を示しており解析による試験体の耐力が推定できることがわかった。図-4の荷重-変位曲線から、各試験体の荷重の傾向を比較すると、砂を充填した試験体では $2\delta_y$ 以降荷重の低下が始まり $3\delta_y$ で既に降伏荷重を下回っており荷重の低下が早いことがわかった。ソイルセメントでは $3\delta_y$ で最大荷重に達しその後 $6\delta_y$ までほぼ荷重を維持した後に低下が始まっている。気泡モルタルでは $2\delta_y$ 以降で低下が始まり $3\delta_y$ で既に降伏荷重を下回っており、荷重低下の早さは砂と同程度であるが $4\delta_y$ 以降緩やかな低下傾向を示

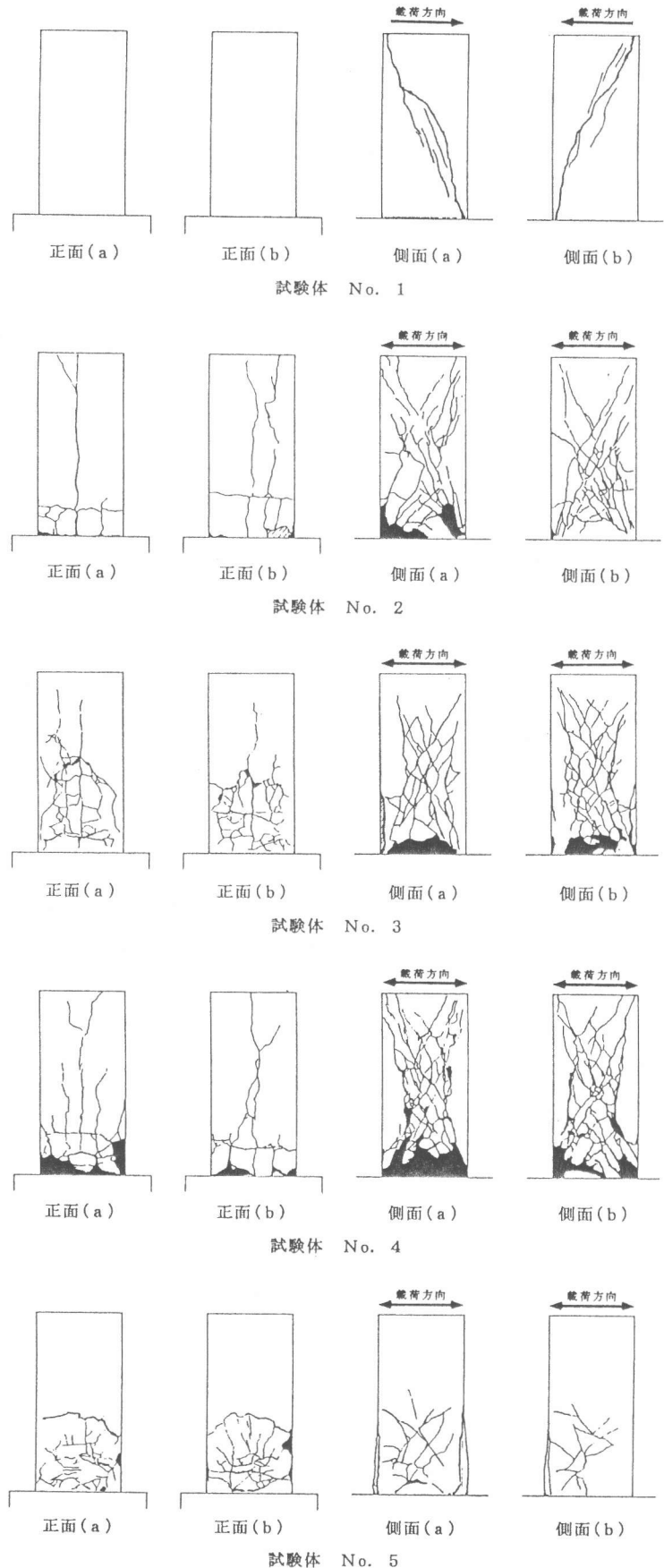


図-3 載荷試験後のひびわれ状況

している。高流動無収縮モルタルでは、 $3\delta_y$ で最大荷重に達しその後 $6\delta_y$ まで荷重を維持した後に低下が始まっており、緩やかな荷重低下傾向を示している。図-5に充填材の圧縮応力とひずみの関係を示す。

表-6 実験結果

No.	降伏荷重 (tf)			最大荷重 (tf)		
	実験値 P_y	計算値 P_{yc}	$\frac{P_y}{P_{yc}}$	実験値 P_{max}	計算値 P_{maxc}	$\frac{P_{max}}{P_{maxc}}$
1	—	20.50	—	22.35	26.01	0.88
2	23.25	20.64	1.13	25.95	26.32	0.99
3	22.24	20.63	1.08	29.07	26.30	1.11
4	23.51	20.64	1.14	26.62	26.32	1.01
5	23.25	21.69	1.07	30.36	27.40	1.11

3.3 じん性能

表-7に各試験体の荷重が降伏荷重 P_y までに低下したときの変位を終局変位 δ_u として δ_y で除した値をじん性率として示す。また、ここでは解析結果によるじん性率も合わせて示す。じん性率の計算はRC標準¹⁾および既往の研究²⁾から求めた。砂を充填した試験体No.2は δ_u が19.4mmであり、じん性率は2以上となり砂のみの充填でもある程度の補強効果が現れることが明らかとなった。また、ここでのじん性率を降伏強度まで低下したときの変位としているためじん性率が低い図から降伏荷重以下となった以降において、耐力は低下しているものの緩やかな低下傾向を示しており $5\delta_y$ で降伏強度の70%以上を有し、かなりの変形性能を保っていることを示している。

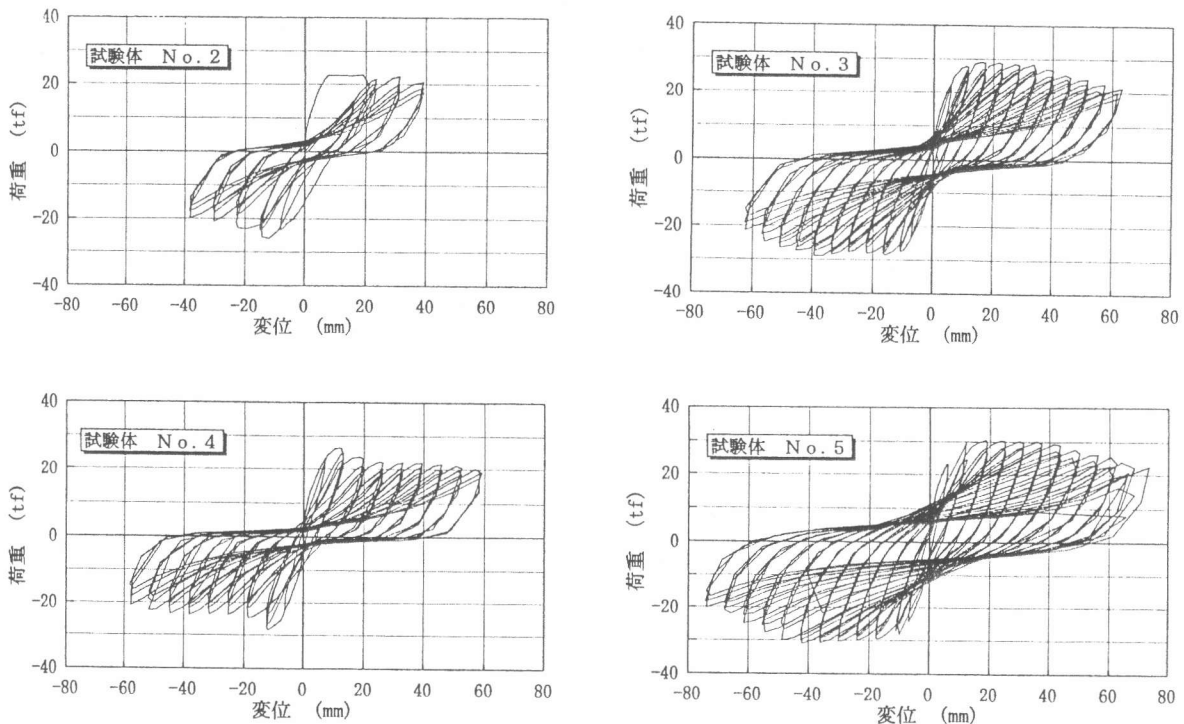


図-4 荷重-変位曲線

ソイルセメント充填試験体No. 3はじん性率が10程度確保されており補強後のじん性率の向上に寄与していることを示している。一方気泡モルタル充填では、じん性率が3程度と砂の充填と比較して若干向上しているもののソイルセメントと比較すると十分な補強効果を示していないが、降伏荷重より低下した以降の耐力は低下しているものの砂と同様に緩やかな低下傾向を示しており、98 δ_y で降伏強度の70%以上を有し、かなりの変形性能が保たれていることを示している。高流動無収縮モルタルでは、じん性率が12程度であり十分な補強効果を示している。これらから高流動無収縮モルタルは、強度および補強効果ともに耐震性能を向上させることが確認できた。

また、ソイルセメントは補強

効果が大きく、高流動無収縮モルタルに近い耐震性能の向上が期待できることが明らかとなった。高流動無収縮モルタルとソイルセメントの実験値は、既往の式と適合していた。

4. まとめ

本実験により得られた結果を以下にまとめる。

- (1) 高流動無収縮モルタル、ソイルセメントについては、じん性向上効果が大きく、十分な耐震性が確保される。
- (2) 気泡モルタル、砂については、降伏強度としたじん性率の向上には効果が小さいが、降伏強度以下以降の耐力の低下は緩やかである。
- (3) 高流動無収縮モルタル、ソイルセメントについては、既往の研究からじん性率の評価が可能である。

参考文献

- 1) 鉄道総合技術研究所：鉄道構造物等設計標準・同解説コンクリート構造物，丸善，1992。
- 2) 宮本征夫・石橋忠良・斉藤俊彦：既設橋脚の鋼板巻き耐震補強方法に関する実験的研究，コンクリート工学年次論文報告集，Vol. 9, No. 2, pp275～280, 1987。

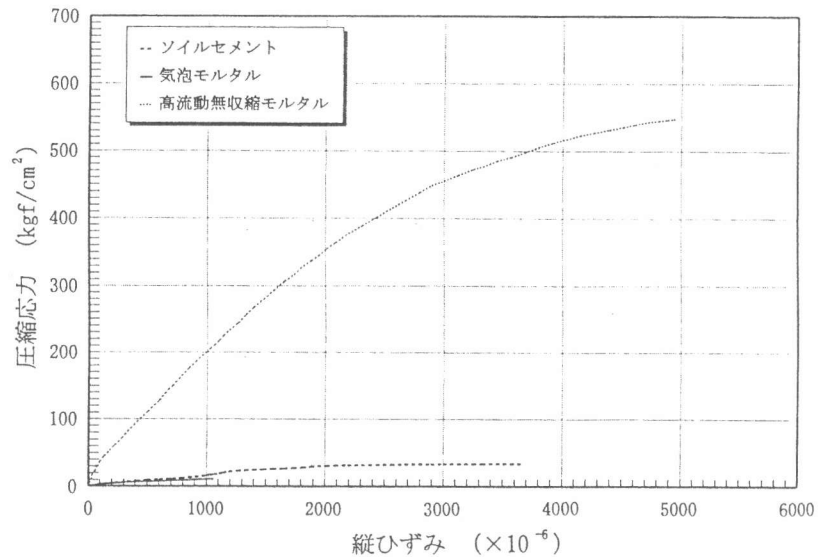


図-5 圧縮応力-ひずみ曲線

表-7 じん性率および破壊形態

No.	降伏変位 δ_y (mm)	終局変位 δ_u (mm)	じん性率		
			実験値 μ	計算値 μ_c	$\frac{\mu}{\mu_c}$
1	—	7.43	—	—	—
2	7.92	19.39	2.45	10.83	0.23
3	5.92	63.40	10.71	10.83	0.99
4	7.17	25.20	3.51	10.83	0.32
5	5.93	73.41	12.38	11.22	1.10