

コア採取孔の合理的補修方法の開発

Experimental Study on Repairing Method of Core Boring Hole

内海 善彦*1 上田 弘樹*2 芝池 達司*3
Yoshihiko Utsumi Hiroki Ueda Tatsuji Shibaike
藤井 睦*4 梶山 毅*4 住 学*4
Atsushi Fujii Tsuyoshi Kajiyama Manabu Sumi

要旨

既存建築物のコンクリート強度調査のため、躯体からのコア採取が一般的に行われている。しかし、コア抜き後の構造部材の強度回復を保証するコア孔の補修方法は確立されていないのが現状である。このため、数種類の補修材料、および工法について物性試験・充填性確認実験を実施し、コア孔補修のための補修材料および充填工法の開発を行った。また、補修材料を押し込みプレートで加圧充填することで、補修後の試験体はコア抜きを行わない試験体と同等の軸耐力を有することを短柱圧縮実験により確認した。

キーワード：コア採取 コア孔補修 加圧充填 充填性確認 短柱圧縮実験 強度回復

1. はじめに

既存建物の耐震診断・耐震補強などにおいては、主要構造部材からコア供試体を採取する場合がある。しかし、コア供試体採取後の構造部材耐力を保証する補修材料や補修工法は確立されていないのが現状である。そこで、数種類の補修材料について基本物性と充填性に関する実験を行い、材料・工法を選定し、コア孔を充填補修した1/2スケールの模擬柱試験体を軸圧縮することで補修効果および補修工法の妥当性を実験的に確認したので報告する。

2. 補修材料の選定および補修方法

2.1 補修材料の圧縮強度およびヤング係数

7種類の補修材料（A～G）について、圧縮強度およびヤング係数を確認した。練混ぜ水量は、製造者の標準水量を参考に、施工性を考慮して試し練りにより設定した。供試体寸法はφ50×100mm、材齢は2, 10, 28, 42日とした。表1に材齢28日における試験結果を示す。

表1 補修材料の圧縮強度、ヤング係数

補修材料	製造者呼称	圧縮強度 (N/mm ²)	ヤング係数 (×10 ⁴ N/mm ²)
A	無収縮系モルタル	52.0	3.32
B	断面修復材	75.0	2.75
C	断面修復材（ポリマー系）	47.7	2.25
D	断面修復材	63.6	2.83
E	断面修復材（ポリマー系）	50.3	2.13
F	無収縮系（ポリマー系）	50.6	3.24
G	無収縮系（ポリマー系）	59.6	2.54

2.2 充填性確認実験

図1に充填性確認用試験体を示す。図に示すように壁状のコンクリート部材を作製し、φ40, 65, 90, 110mmのコア孔を穿孔して試験体とした。

補修工法は下記に示す3種類とした。

工法①：突き棒による押し込み工法

工法②：プレートをボルトで加圧する全ネジボルト工法

工法③：テーパのついた栓を打撃により押し込む工法

確認実験は前述の7種類の補修材料を用いて実施した。充填性の確認は補修材料硬化後、コア孔上下を横断するようにコンクリートカッターで切断し、補修材料とコンクリートの界面、特にコア孔の上部界面の付着状況を確認することで評価した。

図2、3に補修工法（工法②、③）の概要を示す。

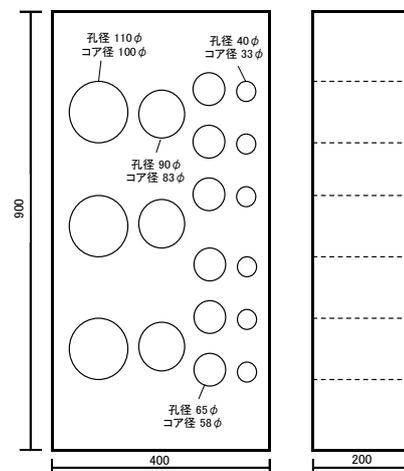


図1 充填性確認用試験体

*1 大阪本店 建築設計部 *2 東京本店 建築設計部 *3 大阪本店 建築部 *4 技術研究所 建築技術研究部門

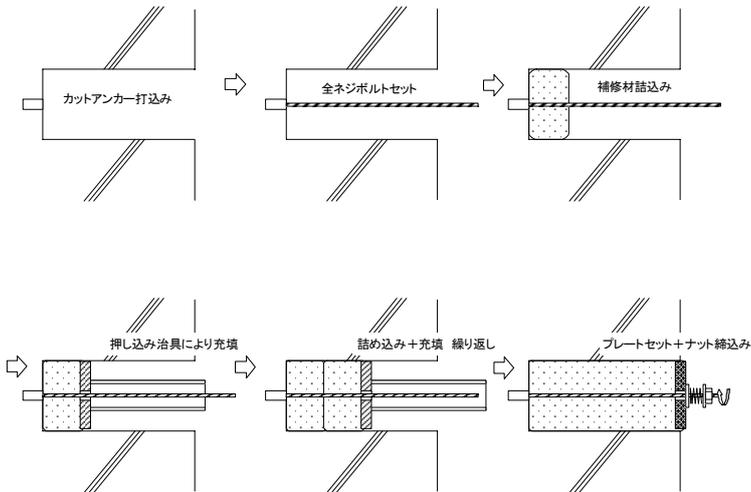


図2 工法②（全ネジボルト工法）

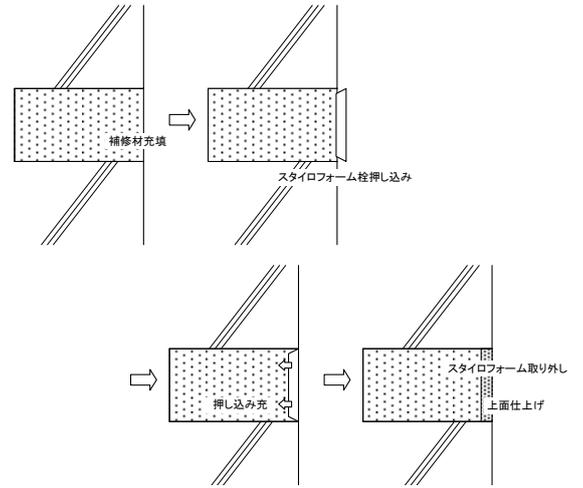


図3 工法③（テーパ栓打撃工法）

2.3 補修材料・工法評価

充填性確認状況の一例を写真1～3に示す。補修材料および工法の評価を表2に示す。7種類の補修材料のうち、材料Aが充填性、施工性、経済性などの総合評価が最も高く、ほぼ100%の充填率が得られた。また、工法①は作業により補修材料を一度に押し込む量や突き数に差異があったが、硬練りとして、4～5回以上に分けて突き棒により充填する

ことにより、比較的良好な充填性が確保されるものと判断された。工法②は全ネジボルトによりプレートを加圧するため、作業者の熟練度による差異が少なく、作業の標準化も容易で、充填性は最も良好であった。工法③はプレートを発泡ポリスチレン製としたため、十分な打撃と固定が困難であったが、材質とテーパ角度などを再検討することにより、充填性も向上するものと判断された。



写真1 充填状況（工法①）



写真2 充填状況（工法②）



写真3 充填状況（工法③）

表2 補修材料および工法の評価

種類	充填性					施工性	経済性	適用部位			総合評価
	工法①	工法②	工法③	コア孔径 (mm)				柱	梁	壁	
				φ 90～110	φ 40～65						
A	○	◎	○	◎	◎	○	◎	◎	◎	◎	
B	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
C	△	○	○	△	○	○	○	△	○	○	
D	△	○	○	△	○	○	○	○	○	○	
E	△	○	○	△	○	○	○	△	△	△	
F	△	○	○	△	○	○	◎	△	○	○	
G	△	○	○	△	○	○	○	△	○	○	

3. 短柱圧縮実験

3.1 試験体

3.1.1 試験体の形状・配筋

試験体は、昭和 40~50 年代の建物の柱を想定し、表 3 に示す実大柱をもとに、1/2 スケールで計画した。柱主筋・補強筋は、拘束効果が生じないように最小とした。試験体の形状・配筋を図 4 に示す。試験体は予備を含め 7 体作製した。

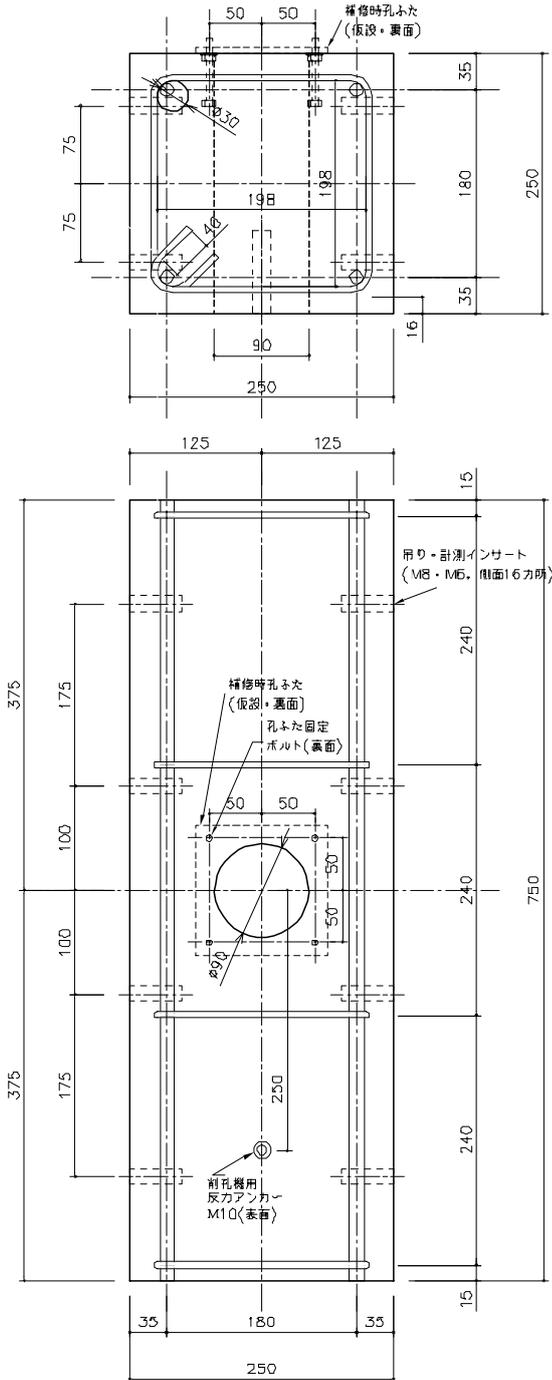


図 4 試験体

3.1.2 補修方法

試験体リストを表 4 に示す。コア孔の補修は、補修材料 A を用いて、試験体 No. 3~6 に対して表 4 に示す補修方法を用いて実施した。実験では比較のためコア孔の無い試験体 No. 1、補修を行わない試験体（空孔）No. 2 および No. 0 についても試験を実施した。また、実際の柱におけるコア孔補修では、長期軸力が作用した状態でコア孔を補修するため、実験においても長期軸力（無孔試験体軸耐力に対する軸力比 0.2）を付与した状態で補修を行い、そのまま硬化養生後に加力した（No. 3）。

3.1.3 使用材料

試験体に用いた材料の試験結果を表 5、6 に示す。載荷試験時のコンクリートの圧縮強度は、設計基準強度 $F_c 21$ に対して $28.1 \sim 29.1 \text{ N/mm}^2$ 、ヤング係数は $2.21 \sim 2.22 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$ 、割裂引張強度は $2.45 \sim 2.72 \text{ N/mm}^2$ であった。なお、補修材料のヤング係数 E_f は、当初想定 $E_f = 3 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$ 程度に比べ、若齢での試験日程のためやや低めであった。

表 3 実大柱・コア孔と試験体の関係

要素		実大柱 (想定)	試験体
柱	形状寸法	角形 $B \times D = 500 \times 500$	角形 $B \times D = 250 \times 250$
	コンクリート強度	$F_c 21$	$F_c 21$ ($\sigma_B = 21 \sim 27 \text{ N/mm}^2$)
	主筋	SD295クラス $p_g = 0.8\%$ 程度	SD295 $p_g = 0.81\%$
	フープ筋	SD295クラス 中央2-9φ・@300 $p_w = 0.08\%$ 程度	SD295クラス 中央2-D6・@240 $p_w = 0.094\%$
コア孔	径	最大骨材径の3倍程度 (サンプル径75φ以上) 孔径/柱径=18%	コア径90φ (サンプル径78φ) 孔径/柱径=36%
	深さ	コア径の2倍以下 (貫通不要)	貫通

表 4 試験体リスト

試験体	コア孔	補修方法	初期軸力 (補修時軸力)
No. 1	なし	—	—
No. 2	なし	補修なし (空孔)	—
No. 3	あり (90φ貫通)	工法② (全ネジボルト工法)	あり (軸力比0.2)
No. 4		補修材料A (無収縮系モルタル)	
No. 5			工法③ (テーパ一栓打撃工法)
No. 6		工法① (突き棒押し込み工法)	
No. 0 ^{*1}	なし	補修なし (空孔)	—

*1 予備試験体で最小限の計測内容であるが耐力評価には含めた。

表5 鉄筋の機械的性質

サイズ	規格	σ_y (N/mm ²)		σ_{max} (N/mm ²)		ヤング係数 (×10 ⁴ N/mm ²)	
		平均	平均	平均	平均	平均	平均
D13	SD295	368	369	522	524	18.18	18.28
		369		524		18.40	
		368		526		18.26	
D6	SD295	338	335	491	485	17.31	17.51
		333		482		17.52	
		332		483		17.70	

表6 コンクリート・補修材料の試験結果

試験体	コンクリート				補修材料		
	圧縮強度 (N/mm ²)	ヤング係数 (×10 ⁴ N/mm ²)	割裂引張強度 (N/mm ²)	評価材齢 (日)	圧縮強度 (N/mm ²)	ヤング係数 (×10 ⁴ N/mm ²)	評価材齢 (日)
No. 0	25.6	1.90	—	28	—	—	—
No. 1	29.1	2.21	2.45	48	—	—	—
No. 2					—	—	—
No. 3	28.1	2.22	2.72	59	42.7	2.64	3
No. 4	29.1	2.21	2.45	48	45.4	2.69	3
No. 5					—	—	3
No. 6					46.8	2.75	4

いずれも3本の平均値を示す。

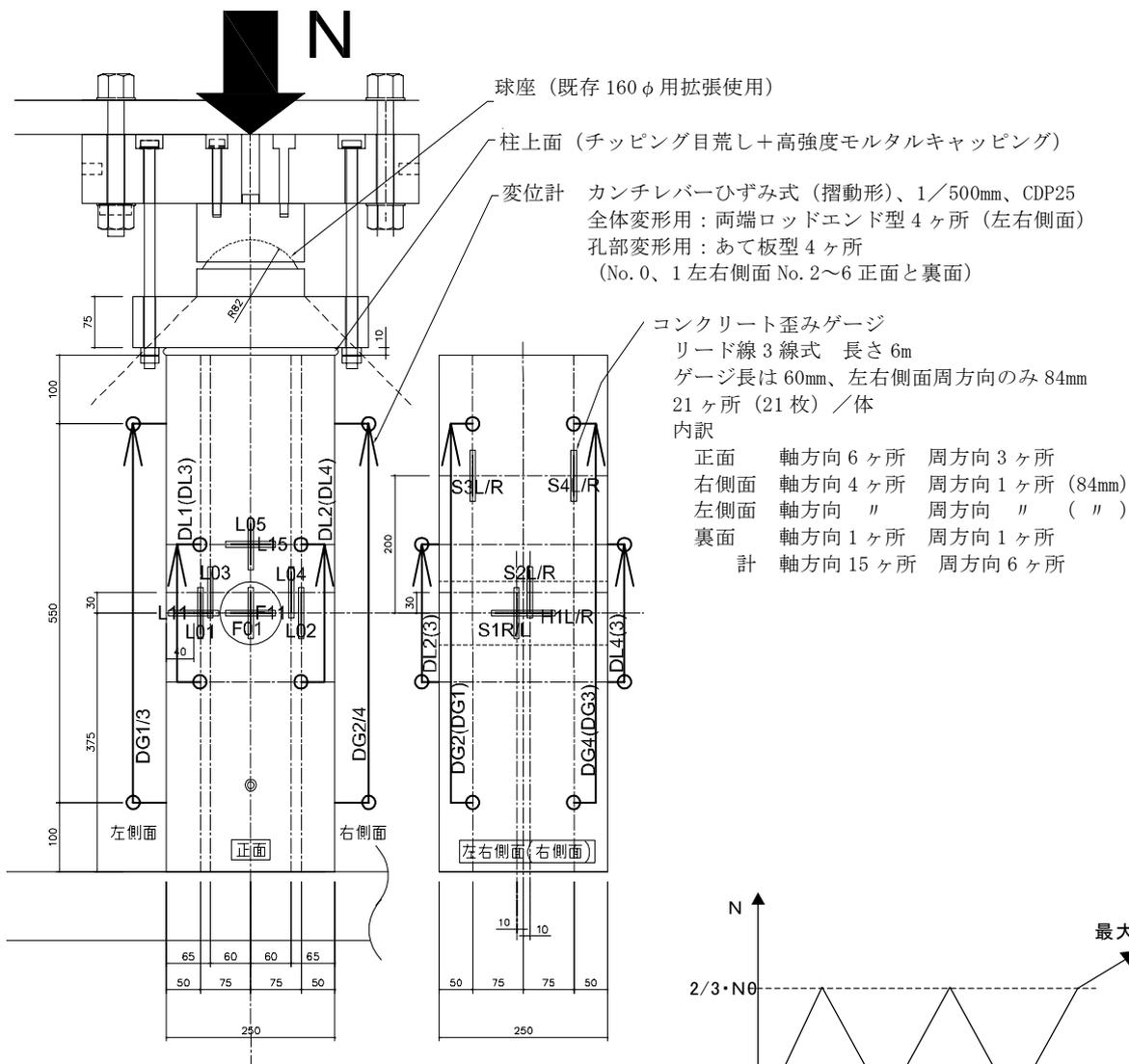


図5 荷重方法

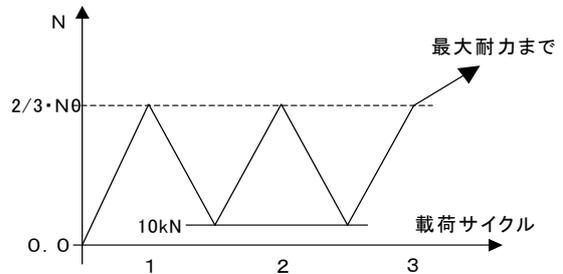


図6 荷重パターン

3.2 実験方法

試験体の載荷方法を図5に、載荷パターンを図6に示す。載荷は片側繰返し軸方向圧縮加力とした。加力の制御は、予備試験で変形制御が不安定となったため、載荷速度を20kN/10sec程度とした荷重制御を基本とし、終局段階では手動記録およびインターバルタイマー記録(5秒ピッチ)を併用した。測定では、軸荷重(500tfロードセル)に加えて、軸縮み(摺動型変位計)、軸方向・周方向歪み(箔歪みゲージ)を測定した。載荷装置には柱実験用のシステムを水平変位ゼロ制御で用いた。

3.3 実験結果

3.3.1 実験経過

各試験体の軸力Nと柱全長での平均軸歪みεとの関係を図7に、動画記録から整理した破壊直後の状況を写真4に示す。

コア孔の無い試験体 No. 1 では軸力 $N=0\sim 2/3\cdot N_0$ (N_0 : 孔部累加耐力と一般部累加耐力のうち、小さい値) の繰返しで短期的なクリープひずみが大きく進行し(約 500μ)、その後の加力で軟化が顕著となった。軸歪み 2000μ 超過程度で軸耐力が頭打ちになり、その後急激に軸耐力を消失した。映像記録によると、まず柱中央高さ付近の角部コンクリートが外に押し出され、鉄筋も外側に座屈し、柱中央でコーン形状のコンクリートが上下対向する形の斜めひび割れが生じ、その斜めひび割れのずれが拡大することで大きな軸縮みとなった。

補修を行わない試験体 No. 2(および No. 0) では、早期(軸力 300kN) に孔上部にアーチ部の開きに相当する縦方向ひび割れが生じた。また、コア孔の無い試験体 No. 1 に比べて小さい軸ひずみ $\epsilon \approx 1500\mu$ で最大耐力となり、軸耐力は無孔試験体に比べて大きく低下した。最終破壊状況は、アーチ部ひび割れは進展せず、有孔梁実験のような孔と接する

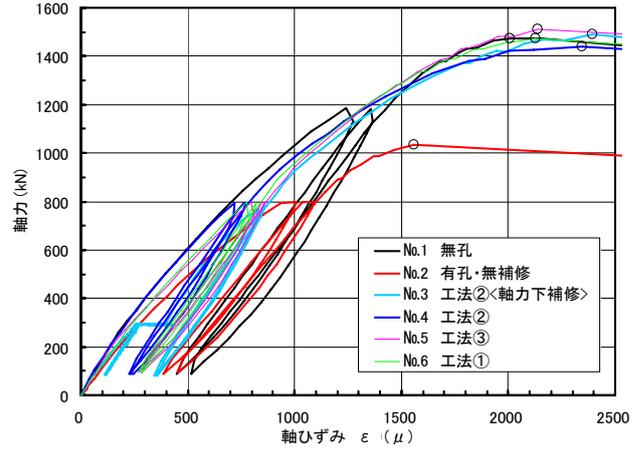


図7 軸力Nと全長平均軸歪εの関係

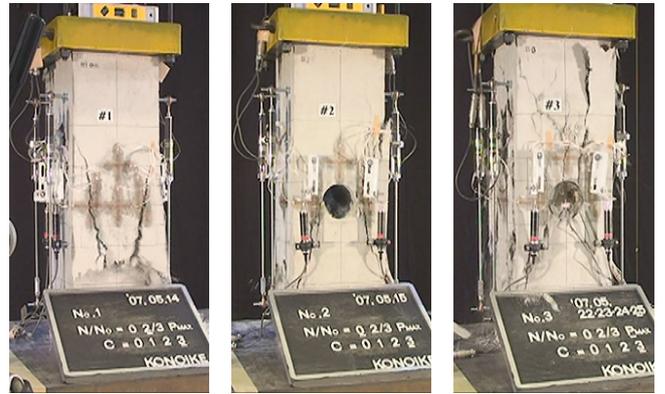


写真4 破壊状況(左から No. 1、No. 2、No. 3)

左右2本逆対称のせん断すべり面が生じ、せん断面を貫通する主筋が折れ曲がった。なお、N-ε 関係において、弾性剛性相当の初期勾配は、各試験体で異なるが、そのなかでも補修を行わない試験体 No. 2 が最も低い結果であった。

補修を行った試験体 No. 3~6 は、コア孔の無い試験体 No. 1 とほぼ同様の経過をたどり、最大耐力、最大耐力時歪みとも No. 1 とほぼ同等であった。最終破壊状況は、基本的

表7 実験軸耐力および計算値との関係

試験体	補修方法	部材軸耐力 (実験値) Ne kN	Ne/ Ne(No. 1)	部材軸耐力 (計算値)											Ne/ Ne(No. 1)	Ne/No	
				鉄筋 Ns			コンクリート Nc			補修材 Nf			孔部 累加耐力 N'₀ kN	一般部 累加耐力 N''₀ kN			部材 軸耐力 N₀ kN
				σy N/mm²	As cm²	As・σy kN	σB N/mm²	Aec cm²	Ac・σB kN	σf N/mm²	Af cm²	Af・σf kN					
No. 0	有孔・無補修	983	0.67	369	5.07	187	25.6	392.4	1005	0	227.5	0	1192	1774	1192	0.60	0.82
No. 2		1034	0.70	369	5.07	187	29.1	392.4	1142	0	227.5	0	1329	1991	1329	0.67	0.78
No. 1	無孔	1475	1.00	369	5.07	187	29.1	619.9	1804	29.1	0	0	1991	1991	1991	1.00	0.74
No. 3	工法②(全ネジボルト工法) 〈長期軸下補修〉	1491	1.01	369	5.07	187	28.1	392.4	1103	42.7	227.5	971	2261	1929	1929	0.97	0.77
No. 4	工法②(全ネジボルト工法)	1438	0.98	369	5.07	187	29.1	392.4	1142	45.4	227.5	1033	2362	1991	1991	1.00	0.72
No. 5	工法③(テーパー栓打撃工法)	1512	1.02	369	5.07	187	29.1	392.4	1142	45.4	227.5	1033	2362	1991	1991	1.00	0.76
No. 6	工法①(突き棒押込み工法)	1475	1.00	369	5.07	187	29.1	392.4	1142	46.8	227.5	1065	2394	1991	1991	1.00	0.74

にはコーン状破壊とみなせるが、中央部に剛性・強度の高い円柱状の充填材があるため、これを避けた形(円柱接面)のすべり面が生じていた。試験体 No. 5(テーパー栓打撃工法)のみ補修材円柱を直角に切断するすべり面となっていた。

3.3.2 実験軸耐力および計算値との対応

予備試験体 No. 0 を含む 7 体の実験軸耐力 N_e および材料試験に基づく計算軸耐力 N_0 を表 7 に示す。

実験軸耐力は、コア孔の無い試験体 (No. 1) の実験軸耐力に対して、補修を行わない試験体 No. 0、および No. 2 では 0.67~0.70、補修を行った試験体 No. 3~No. 6 では 0.98~1.02 であった。補修を行った試験体では、コア孔の無い試験体とほぼ同じ軸耐力に回復しており、今回の実験において採用した補修材料・補修工法の妥当性が確認できた。

一方、全断面有効と仮定した単純累加による軸耐力計算値 N_0 と比較すると、実験耐力比はコア孔の無い試験体 No. 1 では 74%、補修を行った試験体 No. 3~No. 6 では 72~76%、無補修の試験体 No. 0、および No. 2 では 78~82% であった。本実験においては、コア孔(断面欠損)および補修の有無に

関わらず、実験値 N_e は累加耐力計算値 N_0 より小さめであったが、これは試験機の剛性や角部コンクリートが有効ではないことなどによるものと考えられる。

4. まとめ

コア孔補修の充填性確認実験および短柱圧縮実験により、以下のことが確認できた。

- ・コア孔補修材料の充填性は、材料種別・充填工法によって異なり、工法②(全ネジボルト工法)により、選定した補修材料を加圧充填することで良好な充填性が得られた。
- ・選定した補修材料を用いて補修した柱の軸耐力は、コア孔の無い柱と同等であった。
(補修を行った試験体の軸耐力は、コア孔の無い試験体に対して 0.98~1.02 であった。)
- ・本実験の範囲では、長期軸力下での補修の影響は認められなかった。
- ・補修を行わない試験体(断面欠損 36%)の軸耐力は欠損相応に低下した。