論文 頭部ナット付き鉄筋と無機モルタルカプセルによるあと定着型工法 を適用した部材の構造性能に関する実験的研究

山崎 康雄*1・金川 基*1・西村 英一郎*2・石坂 隆幸*3

要旨:本研究は, 既設 RC 部材へ引張力を負担する鉄筋を追加するためのあと施工タイプの工法を提案し, その構造性能を明らかにする事を目的としている。提案する工法は, 既設 RC 部材表面からハンマードリル等で削孔を行い, その孔内へ無機モルタルカプセル(紙チューブ式)を水中に浸漬したのち挿入し, 鉄筋の先端に頭部ナットを取り付けたあと定着鉄筋を打ち込む「あと定着型工法」である。本報では, あと定着型工法を用いた部材の片持ちスラブ形式による長期曲げ載荷試験および正負交番繰返し載荷試験を実施し, 既往の定着工法との比較により構造性能を確認した旨を報告する。

キーワード:頭部ナット付き鉄筋,無機モルタルカプセル,長期曲げ載荷試験,正負交番繰返し載荷試験

1. はじめに

あと施工アンカーは主にせん断力の伝達を対象として おり、引張力の伝達は可能ではあるものの、施工に左右 されるなど信頼性に欠ける。また、指定建築材料ではな いため、耐震改修工事を除く新築物件や既存改修工事の 躯体鉄筋に使用することはできない。本研究は地震力を 負担しない二次部材を主な対象とし、既設 RC 部材へ引 張力を負担する鉄筋を追加するためのあと施工タイプの 工法を提案し、その構造性能を明らかにする事を目的と している。

著者らは、提案するあと定着型工法の定着長さなどを パラメータとした引抜試験を行い、本工法の基本付着強 度を試験結果の付着破壊の下限値で評価することを提案 している。また、試験で使用した鉄筋の材料強度の範囲 においてあと定着鉄筋の定着長さを 20d(d:鉄筋径)とす ることで、引張力が作用した場合の破壊モードが鉄筋の 降伏で決まることを確認している。

本報では,既往の文献^{1)~3)}を参考に実施した長期曲げ 載荷試験および正負交番繰返し載荷試験により,本工法 を適用した部材と RC 規準⁴⁾による既往の定着工法との 比較により構造性能を確認した旨を報告する。

2. あと定着型工法の概要

図-1 に提案する工法の概要を示す。本工法は、土木 分野にて供用中の RC 部材片面からあと施工にてせん断 補強を行う工法の技術を応用したものである⁵⁰。既設 RC 部材表面からハンマードリル等で削孔を行い、その孔内 へ削孔径に対応する専用の無機モルタルカプセル(紙チ ューブ式)⁵⁰をあらかじめ水中に 2~5 分程度浸漬したの

*1	西松建設	(株)	技術研究所	(正会員)
*2	戸田建設	(株)	技術研究所	(正会員)
*3	戸田建設	(株)	構诰設計部	

ち挿入し,鉄筋の先端に頭部ナットを取り付けたあと定 着鉄筋を打ち込む「あと定着型工法」である。無機モル タルカプセルが硬化することによりあと定着鉄筋と既設 RC部材が一体化する。先端に取り付ける頭部ナットは, あと定着鉄筋の径に応じた形状規格がある。既存改修工 事・増設工事等での追加部材・追加補強が容易となり, 施工の効率化・迅速化が可能となる。

なお、下向き施工を基本とするが、上向きおよび横向 き施工時には落下防止金物などを用いることで下向き施 工と同等の性能が得られることを、施工試験により確認 している。



3. 片持ちスラブ形式による長期曲げ載荷試験

3.1 試験概要

あと定着型工法を用いた部材の長期曲げ載荷に対する 構造性能の確認のため,片持ちスラブ形式による長期曲 げ載荷試験を行った。

表-1 と図-2 に試験体一覧および概要を示す。試験 体は片持ちスラブの引張鉄筋が 3-D13 および 2-D16 の計 2 体とした。両試験体は、中央にスタブを設け、一方に あと定着型工法、他方には RC 規準 4による既往の折り 曲げ定着工法の片持ちスラブを設けた。共通事項として、 コンクリートの設計用基準強度は Fc=21N/mm²、片持ち スラブの断面は幅 b=500mm、厚さ t=150mm、スパン長さ は L=1,250mm とした。また、あと定着の定着長は 20d(d: 鉄筋径)とし、既往定着の定着長は 25d とした。

両試験体は、あと定着型工法の片持ちスラブに先行し て、既往定着工法の片持ちスラブと中央のスタブを配筋 し、コンクリートを打設した。スタブのコンクリート硬 化後にあと定着型工法の片持ちスラブの打ち継ぎ面に深 さ 5mm 程度の目荒らしを行い、スタブにハンマードリ ルによって所定の定着長さまで削孔し、無機モルタルカ プセルを充填し、引張鉄筋としてあと定着鉄筋を横向き で打ち込んだ。あと定着鉄筋を打設した後、スラブ筋を 配筋し、コンクリートを打設した。あと定着の片持ちス ラブの天端は、あと定着鉄筋のコーン破壊を防止するた め、スタブ天端から 100mm 下げた位置とした。

表-2にコンクリート,モルタルおよび引張鉄筋の材 料試験結果を示す。主要部材の材料試験結果は,計画時 の強度以上となった。

試験体の計測は、片持ちスラブのたわみと引張鉄筋の ひずみを対象とした。たわみは載荷点下に変位計を設置 し、ひずみは片持ちスラブ引張鉄筋のスタブ側端部にひ ずみゲージを貼り付け計測した。

載荷方法は、引張鉄筋に貼り付けたひずみゲージの値 が引張鉄筋の長期許容応力度程度のひずみとなるように、 各試験体のあと定着側および既往定着側に小分けにした 鉄塊をそれぞれ同数配置した。載荷位置は、スタブとス ラブの界面から距離 1,000mm の位置とした。写真-1 に 載荷後の状況を示す。

試験体	:	sl01 sl02					
Fc	N/mm ²	21					
スラブ幅b	mm		50	00			
スラブ厚さt	mm	150					
スパンL	mm	1000					
引張鉄倉	筋	3-D13 2-D16 (SD295A) (SD295A)					
定着長		あと定着	既往定着	あと定着	既往定着		
		20d	25d	20d	25d		
削孔径	mm	28.0	_	28.0	_		
スラブ創	筋	φ6(100×100)					





図-2 試験体概要

表-2 材料試験結果

a) コンクリート, モルタル

試験体	種類	材齢 (日)	E_c (×10 ⁴ N/mm ²)	σ_B (N/mm ²)	σ_t (N/mm ²)
sl01,02あと定着	コンクリート	41	2.43	21.8	2.15
sl01, 02既往定着	(Fc21)	65	2.84	26.3	2.23
sl01, sl02	モルタル	38	2.61	69.9	5.17

b)引張鉄筋								
試験体	鉄筋径	E_s (×10 ⁵ N/mm ²)	σ_y (N/mm ²)	σ_u (N/mm ²)				
al01 al02	D13	D13 D16 SD295A	1.99	380.7	532.7			
SI01, SI02	D16		1.99	382.0	544.1			



写真-1 長期載荷試験状況

3.2 試験結果

図-3 に両試験体の鉄塊載荷直後のひびわれ発生状況 を示す。両試験体は,あと定着側ではスタブとスラブの 界面に1.5mm 程度の目開き(図中赤線)が生じ,既往定 着側は0.1mm 程度のひび割れが幾つか発生した。

図-4 に両試験体の載荷開始から 420 日までのたわみ 変位増分の推移を示す。図中には、後述する予測式によ る数値を記している。たわみ変位の増分を示すため、計 測値から鉄塊載荷直後のたわみ変位を差し引いた。両試 験体のあと定着および既往定着のたわみ変位の増分は約 180 日までは同等であったが、それ以降は既往定着の増 分が若干大きくなっている。420 日では両試験体のあと 定着および既往定着は 5.0mm 程度で、概ね同等である。 図-5 に、たわみ変位が大きい sl02 試験体のひずみの推 移を示す。ひずみはスタブ側端部に貼り付けた 2 点の平 均値とした。あと定着および既往定着のひずみは 420 日 まで鉄塊載荷直後の値と変わらず概ね一定である。なお、 sl01 試験体も同様の推移であった。

3.3 スラブの長期たわみ変位の予測

本報では,鉄塊載荷から 420 日までの結果を示したが, 長期の試験としては期間が短いため,予測式を用いて, 長期のたわみ変位の予測を行った。

長期クリープ変形の評価として Findley Approach という考えによる評価が、ACI 規準 %などで採用されている(式(1))。また、式(1)は、既往の文献^{7,8)}ではあと施工アンカー単体の長期引張クリープ特性の評価に採用されている。本報では、本工法を採用したスラブのたわみ変位に対して式(1)を適用し、その妥当性と長期たわみ変位の予測を行う。式(1)から増分の項を取り出した式(2)により、長期のたわみ変位の増分を予測する。式(2)中の定数 x および y は、既往の文献^{7,8})に倣い 70 日~90 日における実験結果から最小二乗法により求めた。

$$S_{(z)} = S_{(0)} + x \cdot z^{y}$$
 (1)

$$\Delta S_{(z)} = x \cdot z^y \tag{2}$$

S(z):日数z(単位:日)における変位量、S(0):載荷直後における変位量、x,y:実験により求める定数

図-4 に載荷開始から 1,000 日(約3年)までの予測結 果を示す。両試験体の 420 日までの試験結果と予測結果 は概ね同等であり、スラブの長期たわみ変位においても 式(1)で評価できると考えられる。参考値ではあるが、載 荷開始から 1,000 日までの予測値は, sl01 試験体は 7.0mm 程度であり、sl02 試験体では 8.0mm 程度である。また、 既往定着の推移とも概ね一致している。



4. 正負交番繰返し載荷試験

4.1 試験概要

あと定着型工法を用いた部材の繰返し載荷に対する構 造性能を確認するため,壁部材を模擬した部材の最外縁 の鉄筋(壁主筋)をあと定着型工法および RC 規準 ⁴によ る既往の直線定着工法とした曲げ降伏先行型の試験体を 計画し,正負交番繰返し載荷試験を行った。

表-3 と図-6 に試験体一覧および概要を示す。試験 体は壁主筋をあと定着型工法とした WA 試験体と,既往 の直線定着工法とした WS 試験体の計 2 体とした。あと 定着の定着長は 20d(d:鉄筋径)とし,既往定着の定着長 は,RC 規準⁴⁾の直線定着の必要定着長さより 485mm と 計画した。共通事項として,コンクリートの設計用基準 強度は Fc=21N/mm²とし,壁の部材断面は幅 b=180mm, せい D=700mm,高さは h=1,114mm とした。スタブ形状 は H 型とし,スタブの中央は梁部材を模擬した形状およ び配筋とした。

WA 試験体は、スタブと壁主筋以外の壁縦筋を配筋し、 スタブのコンクリートを打設した。コンクリート硬化後 にスタブ中央の梁部材にハンマードリルによって所定の 定着長さまで削孔し、浸漬した無機モルタルカプセルを 充填し、壁最外縁の鉄筋としてあと定着鉄筋を下向きで 打ち込んだ。モルタル硬化後に、スタブ中央の梁部材と 壁部材の打ち継ぎ面に深さ 5mm 程度の目荒らしを行い、 壁横筋を配筋し、壁部材のコンクリートを打設した。

WS 試験体は、スタブと壁部材の全縦筋を配筋し、ス タブのコンクリートを打設した。スタブのコンクリート 硬化後、スタブと壁部材の打ち継ぎ面に WA 試験体と同 様の深さ 5mm 程度の目荒らしを行い,壁横筋を配筋し, 壁部材のコンクリートを打設した。

表-4 にコンクリート,モルタルおよび鉄筋の材料試 験結果を示す。コンクリートの材料試験結果は,計画時 の強度以下となったが,その他の主要部材の材料試験結 果は,計画時の強度以上となった。

図-7 と図-8 に載荷装置概要および載荷サイクルを 示す。載荷は片持ち形式で,水平ジャッキにより変位制 御による正負交番繰返し載荷を行った。載荷サイクルは, 部材角 $R=\pm 1/1,000$ rad を1 サイクル後, $R=\pm 1/33$ rad ま で 2 サイクルづつ載荷した。終局時の破壊モードの確認 のため, $R=\pm 1/25$ rad で 1 サイクル載荷後に引切った。

計測は、水平ジャッキの変位と壁主筋のひずみを対象 とした。変位はスタブに設置した鉄骨治具を不動点とし て水平ジャッキの芯に変位計を設置した。制御用の部材 角は、変位をスタブ天端から水平ジャッキの芯までの高 さ(H=1,564mm)で除した値とした。ひずみゲージは、壁 部材の最外縁の各壁主筋にスタブ天端付近から高さ方向 に各6箇所貼り付けた(図-6 a1~a6 と b1~b6)。

表-3 試験体一覧

試験体名	WA	WS			
Fc(壁, 梁共通)	Fc(壁, 梁共通) N/mm ²		21		
壁断面b×D	mm	180>	<700		
部材高さh	mm	11	14		
壁主筋(あと定着鋒	跌筋)	4-D16 (SD345)			
あと定着鉄筋削孔径	あと定着鉄筋削孔径 mm		_		
定着長さ mm		320 (20d)	485		
壁縦筋	4-D10 (SD295A)				
壁横筋	壁横筋				
梁断面b×D	梁断面b×D mm		400×600		
涩主筋	4-D19				
未工加	(SD345)				
梁せん断補強角	2-D13	@200 95 A)			





図-6 試験体概要(WA 試験体)

表-4 材料試験結果

a) コンクリート, モルタル

⇒₽₽₩/₩	対理 (士	孫拓	材齡	Ec	$\sigma_{\rm B}$	σ_t
武 斔 仲	리가꼬	俚瑕	(日)	$(\times 10^4 \text{N/mm}^2)$	(N/mm^2)	(N/mm ²)
	壁部材	コンクリート	29	2.79	20.0	1.51
WA	スタブ	(Fc21)	42	2.42	18.9	1.44
	あと定着部	モルタル	35	2.57	84.4	4.88
WC	壁部材	コンクリート	22	2.74	19.6	1.46
ws	スタブ	(Fc21)	35	2.41	18.7	1.31

b) 壁部材の鉄筋

試験体	部位	鉄筋径	鋼種	E_s (×10 ⁵ N/mm ²)	σ_y (N/mm ²)	σ_u (N/mm ²)
WA WC	壁主筋	D16	SD345	1.79	385.6	543.7
WA, WS	壁縦・横筋	D10	SD295A	1.89	350.1	503.7



図-7 載荷装置概要



図-8 載荷サイクル

4.2 試験結果

図-9 に各試験体の荷重一部材角関係を示す。図中に は、後述する各種耐力式による計算値を記している。

WA 試験体は、 $R=\pm 1/1,000rad$ サイクルにおいて壁端 部に曲げひび割れが目視により確認された。 $R=\pm$ 1/150radサイクルにおいて壁主筋が降伏した。 $R=\pm$ 1/100radサイクルにおいて壁端部以外にも曲げひび割れ が発生した。 $R=\pm 1/50rad$ サイクルにおいて、壁端部に て圧縮破壊が発生した。その後、引切載荷を行ったが、 耐力は概ね最大耐力を保持していた。

WS 試験体は、 $R=\pm 1/1,000$ rad サイクルにおいて壁端 部に曲げひび割れが目視により確認された。 $R=\pm$ 1/150rad サイクルにおいて壁主筋が降伏した。R=+1/100rad サイクルピーク付近で最大耐力となった。 $R=\pm$ 1/50rad サイクル以降において、壁部材と梁部材の接合部 分の鉛直変形が大きくなり、耐力が低下した。

写真-2に各試験体の載荷状況(R=-1/25rad 時)を示 す。WA 試験体は壁部材にひび割れが生じており,WS 試 験体は壁部材と梁部材に隙間が生じている。

図-10 に壁主筋の正加力時(水平ジャッキの引き側) におけるひずみ分布を示す。対象とした壁主筋は前掲の 図-6 に示すものである。図は、縦軸に壁部材端部から の位置を示し、横軸に各サイクルピーク時の平均ひずみ





b)WS 試験体 図-9 各試験体の荷重—部材角関係



a)WA 試験体 b)WS 試験体 写真-2 各試験体の載荷状況(R=-1/25rad.時)

値を示す。図中 ab は a と b の各番号の平均値である。 また,壁主筋の降伏ひずみ値を点線で示す。

WA 試験体は, R=1/150rad サイクルにおいて壁主筋が 梁側で降伏し,以降のサイクルでは降伏位置が上方向に 進展していった。WS 試験体は, R=1/100rad サイクルに おいて壁主筋が梁側で降伏し,以降のサイクルでは各位 置でのひずみは減少している。

以上より, WA 試験体は,壁主筋が高強度のモルタル で覆われているため壁主筋と無機モルタルの付着強度が 高く,壁主筋の降伏後も耐力は概ね最大耐力を保持し, 安定した履歴性状を示したと考えられる。一方 WS 試験 体は,壁主筋が降伏後にコンクリートとの付着が切れ, 壁主筋が抜出したため,耐力低下したと考えられる。





表-5 に両試験体の実験値と実強度による計算値の一 覧を示す。計算に用いた耐力式を以下に示す。WA 試験 体は、実験結果の破壊モードが曲げ破壊であり、計算値 と良い対応となった。WS 試験体は、実験結果の破壊モ ードが鉄筋降伏後の抜け出し破壊であり、試験体計画時 と破壊モードは異なったが、計算値とは対応している。

- 1) 曲げ耐力⁹⁾
- ACI ストレスブロック法による精算値とした。
 2) コーン破壊耐力¹⁰⁾

$$T_c = 2/3 \cdot 0.31 \sqrt{\sigma_B} \cdot A_c$$
 (3)
 $\sigma_B: コンクリート圧縮強度 (N/mm2)$
 $A_c: コーン状破壊の有効水平投影面積$

3) 抜け出し耐力(WA 試験体)

$$T_{a1} = 3.5\sqrt{\sigma_B/21} \cdot A_{a1}$$
(4)
 A_{a1} : 付着面積(= $\pi \cdot d_{a1} \cdot l_{ce}$)
 d_{a1} : 削孔径
 l_{ce} : 定着長さ

4) 抜け出し耐力 (WS 試験体)¹⁰⁾ $T_{a2} = 5\sqrt{\sigma_B/21} \cdot A_{a2}$ (5) A_{a2} : 付着面積(= $\pi \cdot d_{a2} \cdot l_{ce}$) d_{a2} : 鉄筋径

表-5 実験値と計算値一覧

⇒睑床	実験値		計算値(kN)			
武 腴 仲	(kN)	収壊モート	曲げ耐力 コーン破壊耐力 抜け出し耐 93 68		抜け出し耐力	
W/A	正:88.4	まし きょうしょう しょうしょう しょう		02	69	
WA	負:-90.1	曲り板墩	61	95	08	
WS	正:81.8	鉄筋降伏後の	01	122	(2	
	負:-69.1	抜け出し破壊		123	03	

5. まとめ

本研究で得られた知見を以下に示す。

- 片持ちスラブ形式による長期曲げ載荷試験より、あ と定着型工法および既往の折り曲げ定着工法による 試験体のたわみ変位は、載荷開始から420日まで同 等であり、長期たわみ変位の予測が可能であること を確認した。
- 2) 正負交番繰返し漸増載荷試験より、あと定着型工法 および既往の直線定着工法による試験体は、鉄筋降 伏後の破壊モードが異なったため、荷重-部材角関 係の形状およびひずみ分布に差異が観られた。試験 体の耐力は、既往の式で評価できることを確認した。

参考文献

- 諏訪愛ほか:接着系あと施工アンカーを用いた部材の構造特性評価に関する研究(その 5~6),日本建築 学会学術講演梗概集,pp.541-544,2016年8月
- 2) 望月晴加ほか:接着系あと施工アンカーを用いた部 材の構造特性評価に関する研究(その14~15),日本 建築学会学術講演梗概集,pp.361-364,2017年8月
- 佐藤恵ほか:接着系あと施工アンカーを用いた部材の構造特性評価に関する研究(その19),日本建築学 会学術講演梗概集,pp.159-160,2018年9月
- 4) 日本建築学会:鉄筋コンクリート構造計算規準・同解
 説 2010
- 5) 佐藤幸三ほか:あと施工せん断補強「サイトフィット ネイリングバー(SNB) ®」工法の開発,西松建設技 報, VOL.39,2016
- American Concrete Institute : ACI355.4-11 Qualification of Post-Installed Adhesive Anchors in Concreate, Aug.2011
- 7) 濱崎仁ほか:接着系あと施工アンカーの長期特性の 評価に関する実験(その1),日本建築学会学術講演梗 概集,pp.691-692,2014年9月
- 8) 久保田龍太ほか:接着系あと施工アンカーの長期特 性の評価に関する実験(その2),日本建築学会学術講 演梗概集,pp.267-268,2015年9月
- 9) 日本建築学会:鉄筋コンクリート造建物の靭性保証 型耐震設計指針・同解説,1999年8月
- 10) 日本建築学会:各種合成構造設計指針·同解説 2010