

後施工六角ナット定着型せん断補強鉄筋 「ベストグラウトバー」による耐震補強工法の開発 Development of Seismic Retrofit Method Using Shear Reinforcing “Best Grout Bar” with Hexagonal Nut Attached at the Tip

廣中哲也* 三澤孝史* 山口 治**

要 旨

既存 RC 構造物の部材に対して、埋込み側先端に六角ナット 3 種を装着したせん断補強鉄筋を片側面から後施工で挿入するせん断補強工法を開発した。後施工六角ナット定着型せん断補強鉄筋「ベストグラウトバー」による引抜き試験、梁状試験体の正負交番載荷試験および施工性試験の結果、ベストグラウトバーの規格降伏強度を発揮するために必要な定着長を明らかにし、せん断補強効果の向上を確認するとともに、せん断耐力の算定方法を明らかにした。また、後施工せん断補強の施工方法について、可塑性モルタル、モルタル充填治具および鉄筋挿入治具を組み合わせることで、上向き施工でも確実な充填性と良好な定着性能を確保できた。本報では、開発したベストグラウトバーを後施工で挿入するせん断補強工法の概要、力学的性能、せん断補強効果の評価および施工方法について報告する。

キーワード：後施工、耐震補強、せん断補強鉄筋、可塑性モルタル、上向き施工

1. はじめに

1980 年以前の設計基準¹⁾にしたがって設計・施工された曲げ破壊先行型の RC 構造物の中には、現在の設計基準で照査すると、せん断破壊先行型となり、耐震性能を満たさないものが多数存在する。これら耐震性能を満たさない構造物の耐震補強では、背後に地盤や他の構造物が存在する場合があります。片側面からのみ施工可能という制約を受けることが多い。具体的には、水槽やボックスカルバートなどの既存の地下構造物、供用中の水路や鉄道・道路等に近接した構造物などの既存の地上構造物および構造物の中壁などの施工の合理性が求められる場合が挙げられる。また、従前からの鋼板接着工法や RC 巻立工法などの耐震補強では、「内空断面積が減少する」、「せん断耐力と曲げ耐力の両方を増加させるため、効率的な曲げ破壊先行型の耐震補強方法とならない」などの問題があり、せん断補強が進んでいないのが現状である。

そこで、供用中の既存 RC 構造物の部材に対して、埋込み側先端に六角ナット 3 種を装着した後施工六角ナット定着型せん断補強鉄筋（以後、「ベストグラウトバー」と称す）を、充填後に垂れを生じない定着材（以後、「可塑性モルタル」と称す）、モルタル充填治具および鉄筋挿入治具と組み合わせて用いることで、部材の片側面からの施工が可能で、せん断耐力を向上する後施工

せん断補強工法を開発した。

本報では、開発したベストグラウトバーを後施工で挿入するせん断補強工法の概要、力学的性能、せん断補強効果の評価および施工方法について報告する。

2. 工法概要

図-1 にベストグラウトバー、図-2 にベストグラウトバーによる補強概要を示す。ベストグラウトバーによる後施工せん断補強工法は、既存 RC 構造物の表面からコアドリル等を用いて削孔し、その孔内に定着材の可塑性モルタルを充填した後、ベストグラウトバーを挿入して、構造体と一体化をはかり、部材のせん断耐力を向上する工法である。

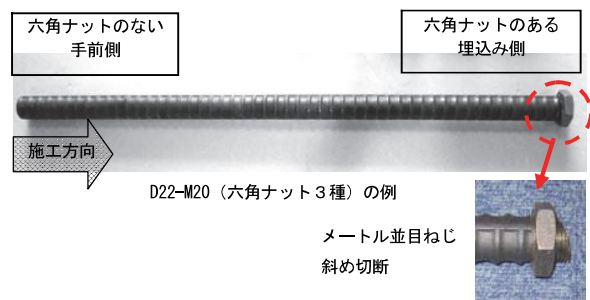


図-1 ベストグラウトバー

* 技術研究所 ** 東日本支社リニューアル技術部

ベストグラウトバーは、ねじ切りおよび斜め切断加工した埋込み側先端に、六角ナット 3 種を装着することにより、挿入の円滑性と位置決め容易性を確保すると共に、定着性能を向上させ、後施工によるせん断補強効果を確実にする機構である。既存 RC 構造物の主鉄筋位置の推定には、設計図書に対する施工誤差を考慮する必要がある。特に埋込み側の主鉄筋の場合には、コンクリート表面からの距離が手前側に比べて長く、電磁波レーダー法等による探査が困難となることも考慮する必要がある。そこで、コア削孔による埋込み側主鉄筋の損傷を防ぐために、コア削孔深さおよびベストグラウトバーの埋込み側先端の挿入位置は、埋込み側主鉄筋の手前までとし、手前側先端の位置は、手前側主鉄筋のかぶり側表面までとすることを基本とした。これにより、ベストグラウトバーの埋込み側の定着長は、手前側に比べて短くなるため、埋込み側先端に前述の六角ナット 3 種を装着することで、定着性能の向上を図っている。また、ベストグラウトバーを既存 RC 構造物に固定する定着材には、充填後に垂れを生じない無機系無収縮の可塑性モルタルを使用し、モルタル充填治具およびベストグラウトバー挿入治具と組み合わせて用いることで、充填および定着性能を確保している。

3. 力学的性能確認試験

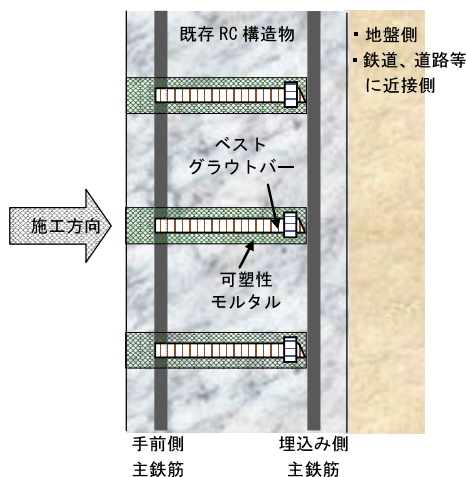
3.1 定着性能試験

a. 試験概要

ベストグラウトバーの母材である異形鉄筋の規格降伏強度相当以上の定着力を確保する定着長（以後、「必要定着長」と称す）を把握するために、コンクリートブロックにベストグラウトバーを挿入・定着した試験体による引抜き試験を実施した。

表一に引抜き試験ケースの一覧、写真一に試験体および引抜き試験装置を示す。鉄筋の種類 SD345 および SD390 について、ベストグラウトバーの先端の種類（六角ナットを装着した埋込み側および六角ナットを装着していない手前側）、鉄筋の呼び名（D16～D32）、定着長（鉄筋径の整数倍）および施工方向（下向きと上向き）をパラメータとした。なお、コンクリートブロックの圧縮強度は 30N/mm² 程度、定着材は表二に示すプレミックスタイプの可塑性モルタルとし、充填後に垂れを生じない無機系無収縮のものを採用した。

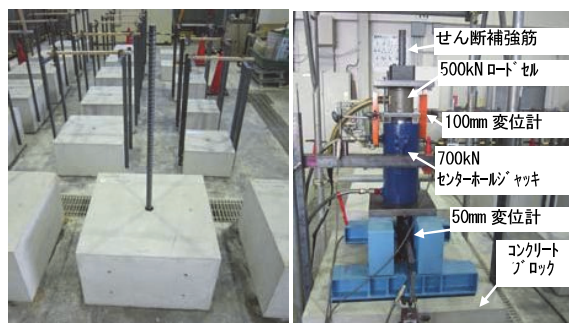
コンクリートブロック試験体は、「土木学会 コンクリートライブラリー128 鉄筋定着・継手指針」²⁾ に準拠して製作し、コア削孔内に可塑性モルタルを充填後ベストグラウトバーを挿入した。また、上向き施工の試験体は、ベストグラウトバーを上向きに挿入する際に、後述の「5.2 施工の詳細 e. ベストグラウトバーの挿入」に示すモルタルの垂れを防止する挿入治具を使用し



図一 ベストグラウトバーによる補強概要

表一 引抜き試験ケースの一覧

鉄筋の種類	六角ナット 3 種の有無	鉄筋の呼び名 (ナットの呼び名)	定着長 (D:鉄筋径)	施工方向	試験体寸法 (mm)
SD390	なし	D16	4~6D	下・上	縦 500, 横 500, 高さ 300
		D22	5~7D	下	縦 700, 横 700, 高さ 400
		D29	6~8D	下	縦 800, 横 800, 高さ 500
		D32	6~8D	下	
	あり	D16 (M16)	3~5D	下	縦 500, 横 500, 高さ 300
		D22 (M20)	4~6D	下	縦 700, 横 700, 高さ 400
SD345	なし	D16	6D	下	縦 500, 横 500, 高さ 300
		D22	6D	下	縦 700, 横 700, 高さ 400
		D32	7D	下	縦 800, 横 800, 高さ 500
	あり	D16 (M16)	4D	下	縦 500, 横 500, 高さ 300
		D22 (M20)	5D	下	縦 700, 横 700, 高さ 400
		D32 (M27)	6D	下	縦 800, 横 800, 高さ 500



写真一 引抜き試験体と引抜き試験装置

表二 定着材に用いる可塑性モルタルの基本物性

水材料比 (%)	ミニスランブ *1 (mm)	テーブルフロー *2 (mm)	可使用時間 (分) *3	ブリーディング率 *4 (%)	膨張収縮率 *5 (%)	圧縮強度 (N/mm ²) *6	
						14 日	28 日
18.0±1.0	65±15	165±20	90 (5°C) 60 (20°C) 30 (30°C)	0	0 以上	60 以上	65 以上

*1) JIS A 1171 *2) JIS R 5201
 *3) ミニスランブが 65±15mm の範囲内となる練混ぜ完了からの経過時間
 *4) JIS A 1123 *5) JSCE-F533
 *6) JIS A 1108 (養生温度 20±2°C の標準水中養生)

たものと使用しないものを製作した。

載荷は、写真-1に示すように、センターホール型の700kN油圧ジャッキでベストグラウトバーに引張荷重を作用させ、鉄筋の規格引張強度まで実施した。測定項目は、500kNロードセルによる引抜き荷重と50mm変位計による引抜き変位とし、計測頻度は1Hzとした。

以下に、鉄筋の種類SD390の試験結果の一部を示す。

b. 結果

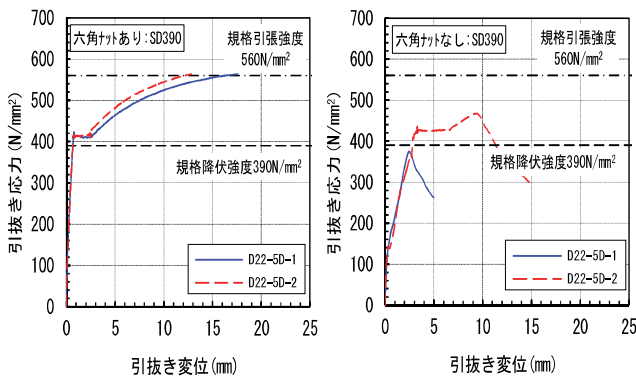
図-3に鉄筋の呼び名D22、定着長5D(Dは鉄筋径を表す)のベストグラウトバーの引抜き応力と引抜き変位の一例、図-4に施工の向きおよび挿入治具の有無によるベストグラウトバーの引抜き応力と引抜き変位を示す。図-3より、D22の定着長5Dのベストグラウトバーは、六角ナットあり側で規格降伏強度以上を満足し、六角ナットなし側で満足しないことがわかる。図-4より、挿入治具なしのD22の定着長6Dでは、最大引抜き応力にばらつきがあり、SD390の規格引張強度以下となった。これは、ベストグラウトバーを上向きで挿入することで、先に充填した可塑性モルタルの垂れが発生したため、十分な付着力が得られなかったと考えられる。

一方、挿入治具ありのD29の定着長6Dでは、SD390の規格引張強度に達しても鉄筋が抜け出すことなく、下向き施工と同等の引抜き応力を有することがわかる。し

たがって、上向き施工時の必要定着長は、ベストグラウトバーの挿入治具を用いることで、下向き施工と同様の値にできる。

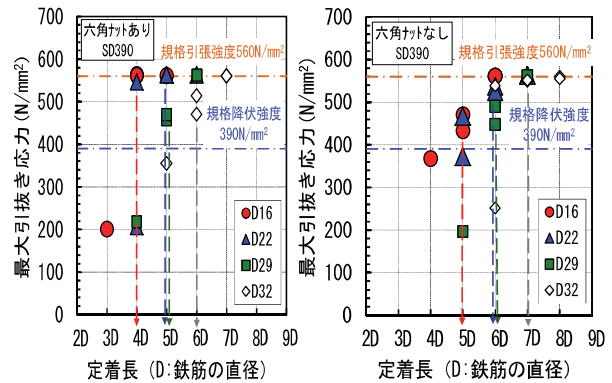
図-5にベストグラウトバー端部の六角ナットの有無による最大引抜き応力と定着長の関係を示す。六角ナットのありとなしの両方で、定着長が長くなるにしたがって、引抜き応力は増加している。試験結果のばらつきを考慮して、同一試験ケースの最大引抜き応力がすべて規格降伏強度以上となる必要定着長は、六角ナットあり側のD16で4D、D22とD29で5D、D32で6D、六角ナットなし側のD16で5D、D22とD29で6D、D32で7Dであることが確認できた。なお、引抜き応力が鉄筋の規格引張強度に達した時点で除荷したため、最大引抜き応力の上限值は、規格引張強度となっている。

表-3にSD345およびSD390のベストグラウトバーの必要定着長の一覧を示す。SD345で実施しなかったケースについては、より強度の大きいSD390の必要定着長を採用することとした。ベストグラウトバーの必要定着長が明らかになり、六角ナットあり側の必要定着長は、六角ナットなし側に比べて、1~2D程度短くなるのがわかる。これにより、六角ナット3種を装着することで定着性能が向上したことが確認できた。ここでは、必要定着長を「当初のベストグラウトバーの規格降伏強



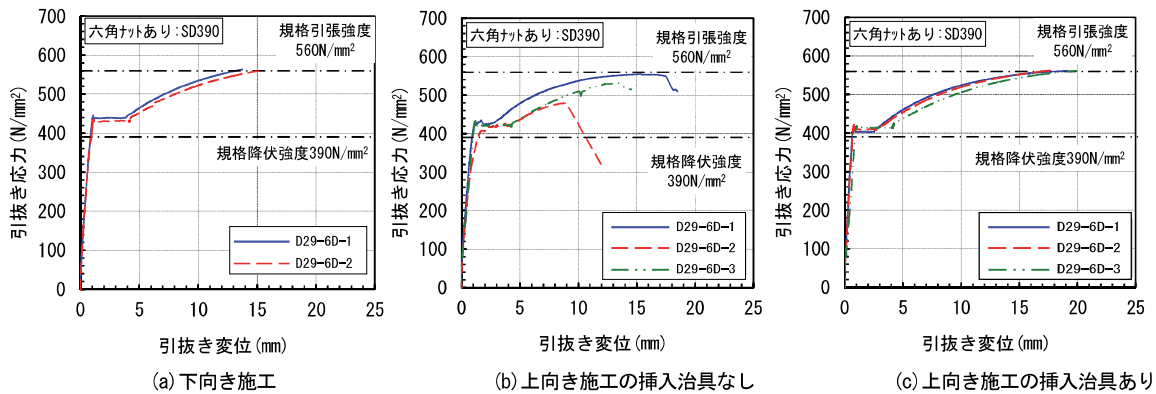
(a) 六角ナットあり:SD390-D22-5D (b) 六角ナットなし:SD390-D22-5D

図-3 引抜き応力と引抜き変位 (六角ナットの有無)



(a) 六角ナットあり側 (b) 六角ナットなし側

図-5 六角ナットの有無による最大引抜き応力と定着長の関係



(a) 下向き施工 (b) 上向き施工の挿入治具なし (c) 上向き施工の挿入治具あり

図-4 引抜き応力と引抜き変位 (施工方向と挿入治具の有無:SD390-D29-6D)

度以上の定着力を確保する値」から、「材料品質のばらつきや施工誤差などを考慮した規格引張強度以上の定着力を確保する安全を見込んだ値」とした。

3.2 梁状試験体の正負交番載荷試験

a. 試験概要

ベストグラウトバーによるせん断補強効果の確認およびせん断耐力の評価を目的に、ベストグラウトバーにより後施工せん断補強した梁試験体の正負交番載荷試験を実施した。

表一4に試験体の種類と緒元、図一6にCASE-2試験体の配筋図を示す。試験体は、後施工せん断補強によるせん断耐力の向上を確認するため、新設構造物の標準の半円形フック付きせん断補強鉄筋（以後、「通常のせん断補強鉄筋」と称す）のみを配置したCASE-1およびCASE-3と、通常のせん断補強鉄筋を配置した試験体にベストグラウトバーを後施工したCASE-2およびCASE-4の合わせて4ケースとした。ベストグラウトバーはD16とD22を使用し、CASE-1およびCASE-3の通常のせん断補強鉄筋の種類と呼び名は、ベストグラウトバーの設置間隔を基準に、分担するせん断耐力が同程度となるように選定した。また、後施工せん断補強の施工は、所定の位置にコア削孔機により削孔し、可塑性モルタルを先に充填した後に、ベストグラウトバーを挿入した。削孔深さは、実施工を想定し、既存の主鉄筋を傷つけることのないように主鉄筋の手前までとした。

写真一2に梁状試験体の正負交番載荷試験状況を示す。載荷方法は、ストローク±250mm、容量3000kNの油圧ジャッキを用いて、2点載荷で試験体を鉛直方向に載荷した。載荷パターンは、予備載荷後に、1サイクル目は、下向きおよび上向き載荷ともに、想定した設計せん断耐力を目標に荷重制御とし、2サイクル目以降は、1サイ

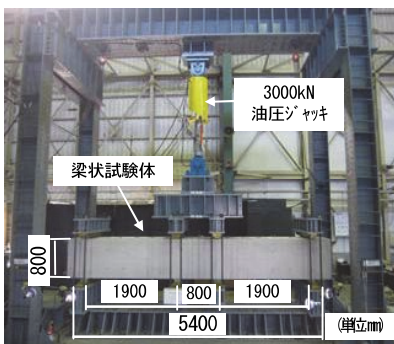
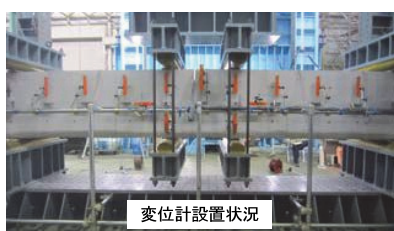
クル目の下向き側の最大荷重時の変位 δ 。の整数倍で変位制御により載荷した。各変位レベルにおける繰り返し数は1回とし、荷重が低下することを確認して載荷を終了とした。なお、載荷荷重を油圧ジャッキに設置したロードセル、試験体の変形量を変位計により計測した。

表一3 ベストグラウトバーの必要定着長の一覧

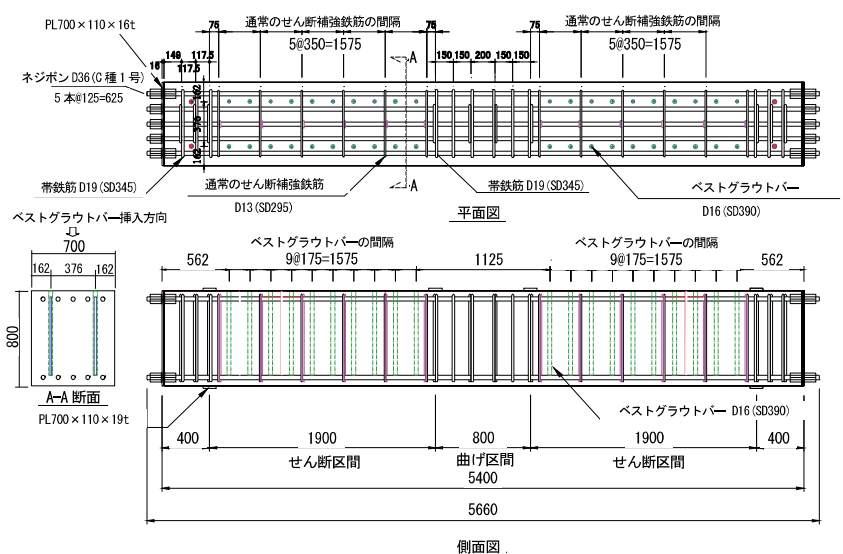
鉄筋の呼び名	鉄筋の種類：SD390		鉄筋の種類：SD345	
	六角ナットあり (埋込み側)	六角ナットなし (手前側)	六角ナットあり (埋込み側)	六角ナットなし (手前側)
D16	4D	6D	4D	6D
D22	5D	7D	5D	6D
D29	6D			
D32	7D	8D	6D	7D

表一4 試験体の種類と緒元

試験ケース	CASE-1	CASE-2	CASE-3	CASE-4	
断面寸法(幅bw×高h:mm)	700×800				
かぶり d (mm)	70				
せん断スパン a (mm)	1900				
せん断スパン比 a/d	2.60				
種類と配置	主鉄筋	ネジボンD36(C種1号)、125mm間隔-2段-5列			
	通常のせん断補強鉄筋	SD295-D13 350mm間隔-3列	D345-D10 265mm間隔-3列		
	ベストグラウトバー	—	SD390-D16 175mm間隔-2列	SD390-D22 265mm間隔-2列	
主鉄筋比 Pv (%)	1.0	1.0	1.0	1.0	
せん断補強鉄筋比 Pw (%)	0.16	0.48	0.12	0.53	
材料試験結果	主鉄筋 fy 降伏強度 (N/mm ²)	1123	1153	1132	1132
	通常のせん断補強鉄筋 降伏強度 (N/mm ²)	369	384	369	384
	ベストグラウトバー 降伏強度 (N/mm ²)	—	456	—	457
	コンクリート fc 実験時の圧縮強度 (N/mm ²)	24.8	25.0	25.2	25.1
	可塑性モルタル 実験時の圧縮強度 (N/mm ²)	—	70.3	—	69.3



写真一2 梁状試験体の正負交番載荷試験状況



図一6 CASE-2試験体の配筋図

b. 結果

図-7にCASE-3とCASE-4の載荷終了時のひび割れ状況のスケッチおよび写真を示す。スケッチの黒線は下向きに載荷した時に発生したひび割れを、赤線は上向きに載荷した時に発生したひび割れを示している。いずれの試験体とも、最初に鉛直荷重 250kN 程度で曲げひび割れが発生後、鉛直荷重 700kN 程度でせん断ひび割れが生じ、載荷が進むにつれてせん断ひび割れの本数が増加した。さらに鉛直荷重の増大につれて、せん断ひび割れが進展し、せん断破壊して荷重が低下した。

図-8にせん断力と試験体スパン中央の鉛直変位の関係を示す。鉄筋の種類 SD390、呼び名 D16 のベストグラウトバーで後施工せん断補強したCASE-2の最大せん断力 1107kN は、後施工せん断補強していないCASE-1の最大せん断力 757kN に比べて、1.5 倍程度増加し、せん断耐力の向上が確認できた。また、D22 のベストグラウトバーで後施工せん断補強したCASE-4の最大せん断力 1152kN も、後施工せん断補強していないCASE-3の最大せん断力 645kN に比べて、1.8 倍程度増加し、せん断耐力の向上を確認できた。

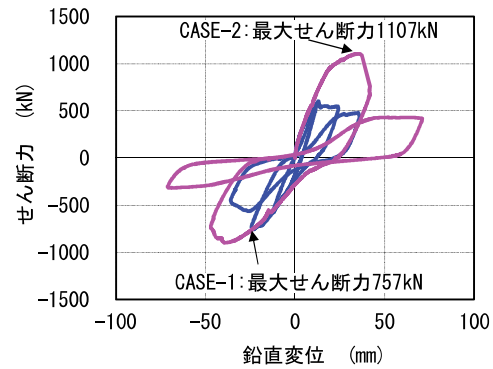
4. せん断耐力と後施工せん断補強効果の評価

4.1 ベストグラウトバーによるせん断耐力の考え方

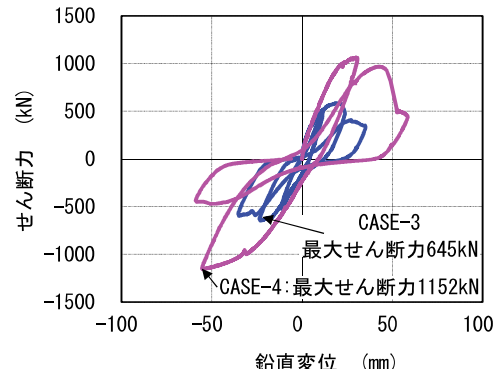
ベストグラウトバーは、新設建造物の通常のせん断補強鉄筋に比べて定着性能は小さく、「土木学会 コンクリート標準示方書 設計編」³⁾のせん断耐力式において、せん断補強鉄筋が分担するせん断耐力 V_{sd} を全て見込むことはできないと考えられる。ここでは、後施工せん断

補強後のせん断耐力を、補強前のせん断耐力式にベストグラウトバーが分担するせん断耐力を累加した式で評価できるように、前述の梁試験体の載荷試験結果と以下に示す評価方法を基に、通常のせん断補強鉄筋の分担応力に対するベストグラウトバーの分担応力の低下率を考慮した係数について、検討した結果を示す。

ベストグラウトバーの後施工によるせん断補強効果を、アルカリ骨材反応を受けて破断したせん断補強鉄筋と同様の方法を用いて⁴⁾、定着が不十分なせん断補強鉄筋とみなしてせん断耐力を評価した。



(a) CASE-1 と CASE-2



(b) CASE-3 と CASE-4

図-8 せん断力と鉛直変位の関係

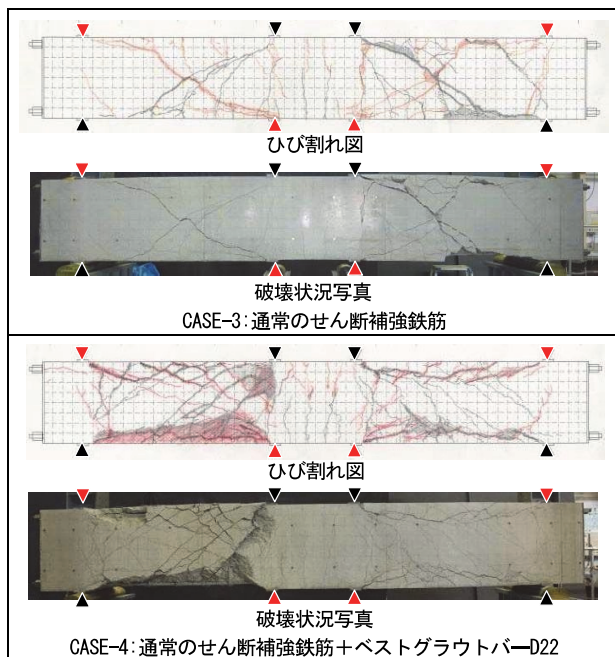


図-7 載荷終了時のひび割れ図と破壊状況

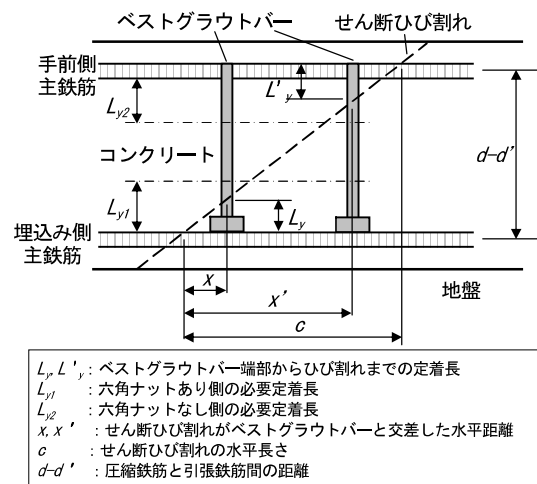


図-9 ベストグラウトバーとせん断ひび割れの関係

L_y, L'_y : ベストグラウトバー端部からひび割れまでの定着長
 L_{y1} : 六角ナットあり側の必要定着長
 L_{y2} : 六角ナットなし側の必要定着長
 x, x' : せん断ひび割れがベストグラウトバーと交差した水平距離
 c : せん断ひび割れの水平長さ
 $d-d'$: 圧縮鉄筋と引張鉄筋間の距離

図-9 にベストグラウトバーとせん断ひび割れの関係を示す。ベストグラウトバーの六角ナットあり側の必要定着長 L_{y1} および六角ナットなし側必要定着長 L_{y2} 以上離れた位置にせん断ひび割れがあるベストグラウトバーでは、降伏強度相当のせん断力を分担できると仮定した。一方、必要定着長以下の範囲にせん断ひび割れがあるベストグラウトバーでは、一部のせん断力のみを分担できるとし、定着長 L_y に応じて伝達できるベストグラウトバーの引張応力 f_{sw} を線形で仮定した。

図-10 にベストグラウトバーの降伏強度 f_{yw} に対する定着長 L_y に応じてベストグラウトバーが分担できる引張応力 f_{sw} の応力比 f_{sw}/f_{yw} の分布を示す。ベストグラウトバーが分担できるせん断耐力 V_{bd} は、通常のせん断補強鉄筋とみなして求められるせん断耐力 V_{avd} に、必要定着長に達するまでの応力比 f_{sw}/f_{yw} 分布の低下を考慮した係数 β_{aw} (以後、「有効係数 β_{aw} 」と称す) を乗じた式(1)で表される。ベストグラウトバーが分担できるせん断耐力の有効係数 β_{aw} は、圧縮鉄筋と引張鉄筋間の距離 ($d-d'$) が必要定着長の和 ($L_{y1}+L_{y2}$) より大きい場合に、図-10 に示す定着長に応じて伝達する応力比 f_{sw}/f_{yw} 分布の面積として、式(2)により算出できる。これにより、ベストグラウトバーによる後施工せん断補強後のせん断耐力 V_{pyd} を、補強前のせん断耐力にベストグラウトバーが分担するせん断耐力 V_{bd} を累加した式(3)で評価する。

$$V_{bd} = \beta_{aw} \cdot V_{avd} \quad \text{式(1)}$$

$$\beta_{aw} = 1 - (L_{y1} + L_{y2}) / 2(d - d') \quad \text{式(2)}$$

$$V_{pyd} = V_{cd} + V_{sd} + V_{bd} \quad \text{式(3)}$$

ここに、 V_{pyd} : ベストグラウトバーにより後施工せん断補強した RC 部材のせん断耐力

V_{cd} : コンクリートが分担するせん断耐力

V_{sd} : 既存のせん断補強鉄筋により分担するせん断耐力

V_{bd} : ベストグラウトバーにより分担するせん断耐力

V_{avd} : ベストグラウトバーを通常のせん断補強鉄筋とみなして求めるせん断耐力

β_{aw} : ベストグラウトバーの有効係数
ただし、 $(d-d') > (L_{y1} + L_{y2})$ に適用
 $\beta_{aw} \leq 0.81$: ベストグラウトバーが D16 の場合
 $\beta_{aw} \leq 0.75$: ベストグラウトバーが D22 の場合
 L_{y1} : ベストグラウトバーの六角ナットあり側の必要定着長
 L_{y2} : ベストグラウトバーの六角ナットなし側の必要定着長
 $d-d'$: 圧縮鉄筋と引張鉄筋の間隔

4.2 ベストグラウトバーによるせん断補強効果の評価

表-5 に載荷試験結果および評価式で算出したせん断耐力と有効係数を示す。コンクリートが分担するせん断耐力 V_{cd} および通常のせん断補強鉄筋が分担するせん断耐力 V_{sd} は、安全係数を 1.0 としてコンクリート標準示方書設計編²⁾ に基づいて算出した。また、有効係数の試験値は、「せん断耐力の試験値」から「コンクリート分担分と通常のせん断補強鉄筋の分担分のせん断耐力の計算値」を差し引いた値を「通常のせん断補強鉄筋とみなして算出したベストグラウトバー分担分のせん断耐力の計算値」で除して求め、有効係数の計算値は、式(2)により算出した。表-5 より評価式に各せん断補強鉄筋の実降伏強度 (表-4 参照) を用いた場合には、ベスト

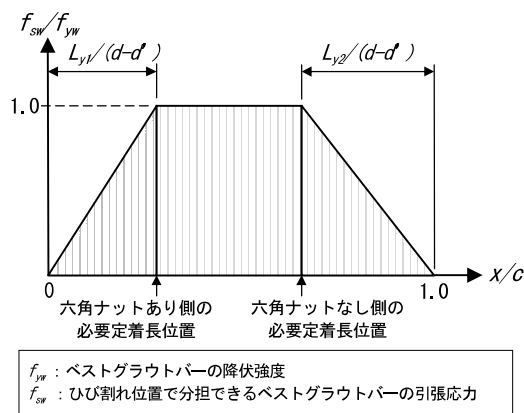


図-10 引張応力と降伏強度の応力比分布

表-5 載荷試験結果、評価式によるせん断耐力と有効係数

No.	降伏強度の種類 ^{*1)}	せん断耐力 (kN)		計算値の内訳 (kN)		有効係数 β_{aw}		備考
		試験値 V_{exp} ^{*2)}	計算値 V_{cal} ^{*3)}	$V_{cd_cal} + V_{sd_cal}$ ^{*4)}	V_{aw_cal} ^{*5)}	試験値 β_{exp} ^{*6)}	計算値 β_{cal} ^{*7)}	
CASE-2	実測値	1107	1155	578	656	0.81	0.88	ベストグラウトバー-D16 ・必要定着長 六角ナットあり側 4D 六角ナットなし側 6D
	規格値		1020	526	562	1.03		
CASE-4	実測値	1152	1197	520	847	0.75	0.80	ベストグラウトバー-D22 ・必要定着長 六角ナットあり側 5D 六角ナットなし側 7D
	規格値		1079	500	723	0.90		

*1) 評価時に使用したせん断補強鉄筋の降伏強度の種類
*2) V_{exp} : せん断耐力の試験値
*3) V_{cal} : せん断耐力の計算値 ($V_{cd_cal} + V_{sd_cal} + \beta_{aw_cal} \cdot V_{aw_cal}$)
*4) コンクリート分担分のせん断耐力 V_{cd_cal} と通常のせん断補強鉄筋の分担分のせん断耐力 V_{sd_cal} の和の計算値
*5) 通常のせん断補強鉄筋とみなして算出したベストグラウトバーのせん断耐力の計算値
*6) $[V_{exp} - (V_{cd_cal} + V_{sd_cal})] / V_{aw_cal}$
*7) ベストグラウトバーの有効係数の計算値 (式(2))

グラウトバーにより後施工せん断補強した有効係数 β_{av} の試験値は CASE-2 で 0.81、CASE-4 で 0.75 となり、計算値の 0.88 と 0.80 に比べて若干小さな値を示した。また、評価式に各せん断補強鉄筋の規格降伏強度を用いた場合には、有効係数 β_{av} の試験値は CASE-2 で 1.03、CASE-4 で 0.90 と計算値より大きくなっており、後施工のせん断補強効果を安全側に評価することができる。ただし、設計においては、実降伏強度を用いた有効係数の試験値を上限とし、SD390 以下の D16 のベストグラウトバーを用いて後施工せん断補強する場合の有効係数の上限値を 0.81、D22 の場合の上限値を 0.75 とする。

5. 施工方法

5.1 施工手順

図-11 にベストグラウトバーによる後施工せん断補強の標準的な施工フローを示す。ベストグラウトバーは、片側面からせん断補強する部材を対象に、横向き、下向きおよび上向きの施工が可能である。主な施工手順は、①削孔の位置出し、②削孔、③孔内清掃、④モルタルの充填、⑤ベストグラウトバーの挿入、⑥仕上げであり、モルタルを充填した後に、ベストグラウトバーを挿入する先充填後挿入方法とした。可塑性モルタル、モルタル充填治具および上向き・横向き施工時のベストグラウトバー挿入治具を組み合わせることで、確実な充填性と良好な定着性能を確保している。

5.2 施工の詳細

a. 削孔の位置出し

図-12 に削孔の位置出し概要を示す。削孔に先立ち、電磁波レーダ法等の非破壊探査機により既存構造物の手前側の主鉄筋および配力鉄筋の位置を確認し、これを受けて削孔位置を定める。

b. コアドリルによる削孔

削孔は、削孔精度を確保するために、コアドリルによる湿式削孔を基本とした。削孔時には、既存構造物中の鉄筋を損傷しないように、背面側の主鉄筋の手前で削孔を終了する。コンクリート中の鉄筋にコアドリルのビットが触れると「電源供給を瞬時に遮断する金属探知機能付きコードリール」や「自動停止する鉄筋センサー付コアドリル」等を使用する。

c. 孔内清掃

削孔時に発生した切削粉、コンクリート片および水分は、既存コンクリートと可塑性モルタルの定着性能を低下させるため、ブラシやウエス等を用いて孔内を水洗し、切削粉等を除去する。その後、スポンジやウエス等により余剰水を拭き取る。特に、下向き削孔内では、余剰水が溜まりやすいため、水を吸引できる掃除機を用いて余剰水を除去する。

d. 可塑性モルタルの充填

写真-3 に吸湿防止状況を示す。モルタル充填直前に、霧吹きまたは濡れたスポンジを用いて孔壁を湿らせた後、スポンジやウエス等により余剰水を拭き取る。孔壁を湿潤状態にすることで、可塑性モルタルの水分が既存コンクリートに吸湿されることを防止する。

写真-4 に充填パッキン付き充填治具、図-13 に充填治具を用いた可塑性モルタルの充填概要を示す。可塑性モルタルの充填では、充填パッキン付きの充填治具を用いて孔内先端から充填することで、空気の混入および垂れを防止できる。また、表-2 に示すプレミックスタタイプの可塑性モルタルを使用することで、所定の水を添加、混合するだけで、一般的なモルタルポンプでの圧送

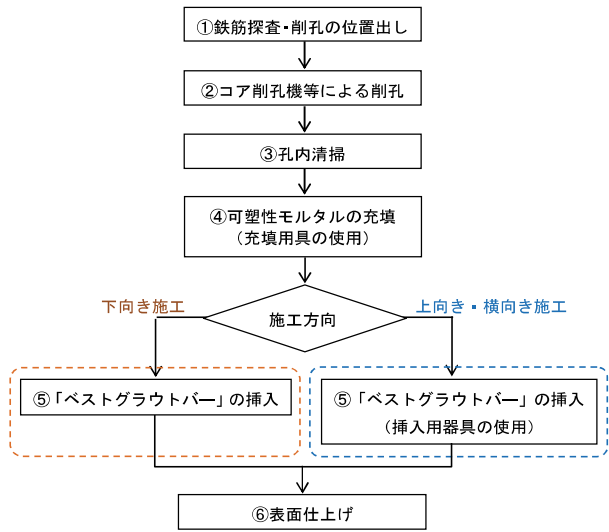


図-11 ベストグラウトバーによる施工フロー

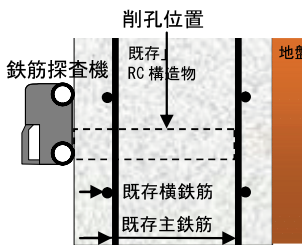


図-12 削孔の位置出し概要



写真-3 吸湿防止状況



写真-4 充填パッキン付き充填治具

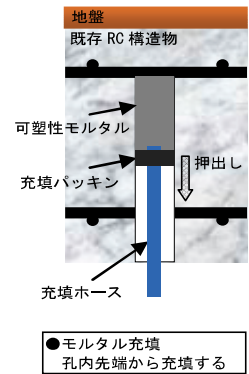


図-13 充填概要



写真-5 挿入治具

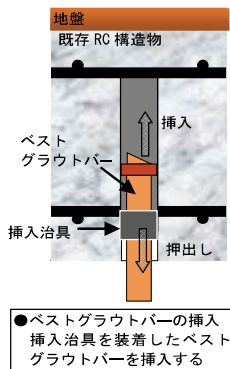


図-14 挿入概要



写真-6 挿入状況



写真-7 上向き後施工の切断・割裂面

性、充填後に垂れを生じない施工性および安定した品質が得られる。

e. ベストグラウトバーの挿入

写真-5 にベストグラウトバーの挿入治具、図-14 に挿入治具を用いたベストグラウトバーの挿入概要および写真-6 にベストグラウトバーの挿入状況を示す。ベストグラウトバーの挿入体積により、挿入治具が可塑性モルタルに押されながら手前側に移動することで、垂れを防止し、充填および定着性能を確保できる。その後、挿入治具を回収し、可塑性モルタルの硬化前に表面を仕上げる。孔内は負圧となるため、上向き施工の場合でも、型枠なしで、充填した可塑性モルタルの垂れおよび挿入したベストグラウトバーの抜出しは発生しないことを確認した。

写真-7 に上向き施工の後施工せん断補強箇所の切断面および割裂面を示す。ベストグラウトバーの鉄筋および先端の六角ナット周辺に空隙等の不良箇所はなく、モルタルが十分に充填され、一体となることを確認した。

f. 仕上げ

ベストグラウトバーの施工箇所は、挿入完了後、いずれの施工方向（下向き、横向き、上向き）についても、可塑性モルタルの硬化前に平滑に左官仕上げする。

6. まとめ

既存 RC 構造物の部材に対して、ベストグラウトバーを片側面から挿入する後施工せん断補強工法を開発し、ベストグラウトバーによる引抜き試験、梁状試験体の正負交番載荷試験および施工性試験の結果から、以下について明らかにした。

- i. 鉄筋の種類 SD345 と SD390 の呼び名 D16 から D32 までのベストグラウトバーの規格降伏強度を發揮するために必要な定着長が明らかになった
- ii. ベストグラウトバーの六角ナットあり側の必要定着長は、六角ナットなし側に比べて 1~2D 短くなり、六角ナット 3 種を装着することで定着性能が向上する

- iii. SD390 の D16 と D22 のベストグラウトバーにより後施工せん断補強した部材のせん断耐力は、補強前に比べて 1.5~1.8 倍となり、せん断補強効果が向上する
- iv. ベストグラウトバーを用いて後施工せん断補強したせん断耐力の補強効果を、新設構造物に用いる標準の半円形フック付きせん断補強鉄筋のせん断耐力に有効係数を乗じることで評価できる
- v. 可塑性モルタル、モルタル充填治具およびベストグラウトバー挿入治具を組み合わせることで、横向き、下向きおよび上向きのいずれの施工方向においても、確実な充填性と良好な定着性能を確保できる

7. おわりに

ベストグラウトバーによるせん断補強工法は、一般財団法人土木研究センターから後施工六角ナット定着型せん断補強鉄筋「ベストグラウトバー」として、建設技術審査証明の取得を予定している。背面に地盤等がある構造物、鉄道や道路等に近接した構造物、供用中の水槽・水路構造物および施工の合理性が求められる場合など、片側面からの後施工によるせん断補強工事の必要性がさらに高くなると考えられる。今後は、本技術の性能向上および適用範囲の拡充等を目指すと共に、安全で安心な社会の維持発展の一助となるように、本工法の普及展開に努め、施工実績を増やしたい。

【参考文献】

- 1) 土木学会、「昭和 49 年制定 コンクリート標準示方書 [昭和 55 年版]」、1980.4
- 2) 土木学会、「コンクリートライブラリー128 鉄筋定着・継手指針 [2007 年版]」、pp.71-84、2007.8
- 3) 土木学会、「2012 年制定 コンクリート標準示方書 設計編」、pp.177-187、2013.3
- 4) 土木学会、「アルカリ骨材反応対策小委員会報告書」、2005.9