

後施工六角ナット定着型せん断補強鉄筋による耐震補強工法

山口 治・三澤 孝史・廣中 哲也

既存の地下構造物など、片側からの施工が合理的な場合に適用できる、六角ナット定着型せん断補強鉄筋「ベストグラウトバー」(以下「本開発品」という)を用いる後施工せん断補強工法を開発した。先端の挿入位置が埋込み側既設主鉄筋の手前までで耐震性能を確保できるため、埋込み側既設鉄筋の損傷リスクを大幅に低減できる。既設構造物と本開発品は、プレミックス型の可塑性モルタルにより一体化する。専用の充填治具と鉄筋挿入具を使用することで上向きでも確実な施工が可能となる。本報では、本開発品による後施工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：RC 構造物, 既設躯体, 耐震補強, 後施工せん断補強, 可塑性モルタル

1. はじめに

1980年以前の設計基準¹⁾に従って設計・施工されたRC構造物の中には、現在の設計基準の照査において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は、ボックスカルバートなどのように背後に地盤がある場合が多く、片側面からのみ施工可能という制約を受ける。そこで、供用中の既存RC構造物の部材に対して、本開発品を用いて内面から施工が可能なせん断補強工法を開発し実用化に至った。本工法は、大型機械を用いずに人力運搬・施工が可能で、専用充填材の注入と本開発品の挿入を同時に実施できるため、工程短縮および省力化が図れる。本報では、本開発品による後施工せん断補強工法の概要、せん断補強効果および施工方法について報告する。

2. 工法概要

本開発品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プレミックス型可塑性モルタルを充填した後、本開発品を挿入して、構造体と一体化させることで部材のせん断耐力を向上する工法である。図1に本開発品、図2に本開発品の施工概要を示す。

本開発品は、ねじ切りおよび斜め切断加工した埋込み側先端に、六角ナットを装着することにより、挿入の円滑性と位置決めを容易性を確保すると共に、定着

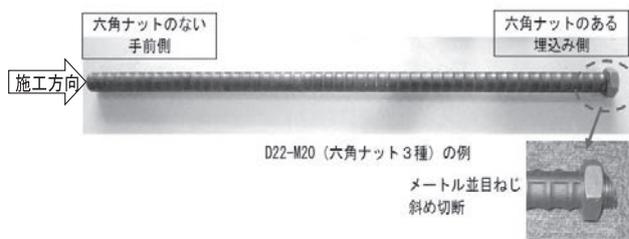


図1 本開発品の概要

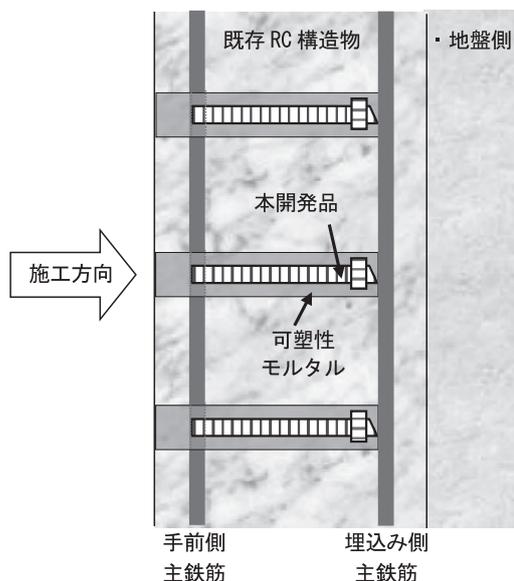
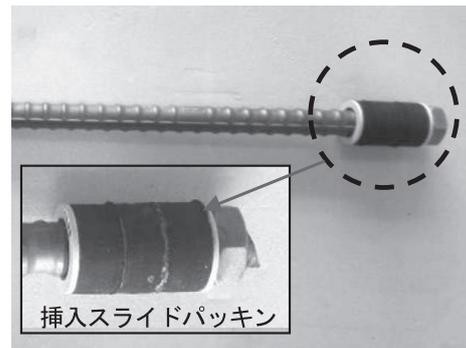
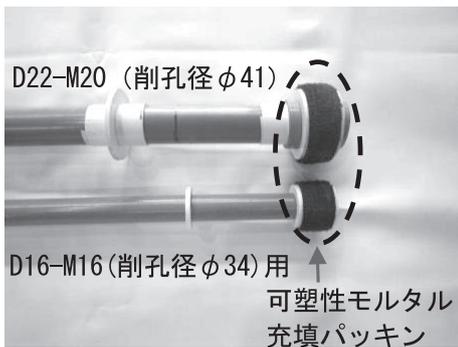


図2 本開発品の施工概要

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、電磁波レーダー等の非破壊検査により実施することが一般的であるが、埋込み側の主鉄筋は、コン



写真一 1 充填・挿入専用治具

クリート表面からの距離が長く鉄筋位置の探査が困難である。そこで、削孔による埋込み側主鉄筋の損傷を防ぐために、削孔深さおよび本開発品の埋込み側先端の挿入位置を埋込み側主鉄筋の手前までとした。これにより、本開発品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を装着することで定着性能の向上を図っている。また、本開発品と既存 RC 構造物を一体化する定着材には、充填後に垂れを生じない無機系無収縮のプレミックス型の可塑性モルタルを使用し、写真一 1 に示す専用のモルタル充填治具と本開発品挿入治具を組み合わせることで、確実な充填と定着性能を確保している。

3. 力学性能確認試験

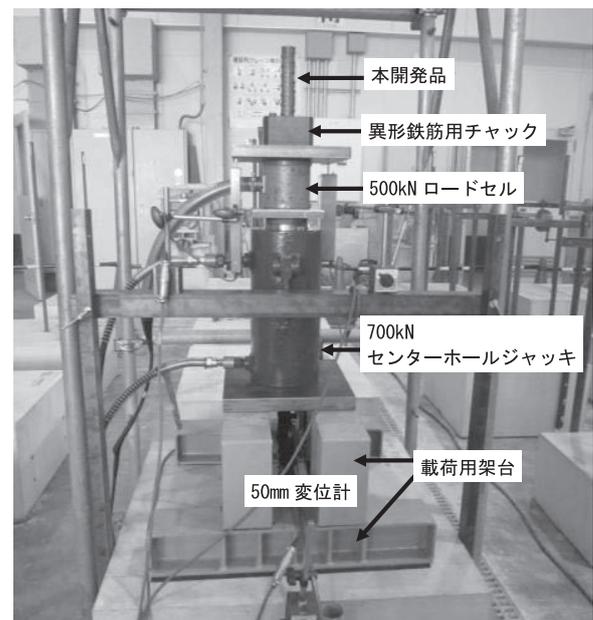
(1) 定着性能試験

本開発品の定着力を評価するため、コンクリートブロックに本開発品を挿入・定着した試験体による引き抜き試験を実施した。写真一 2 に引き抜き試験状況を示す。引き抜き試験は、鉄筋の種類 (SD345, SD390)、本開発品の先端の種類 (六角ナットの有無)、鉄筋の呼び名 (D16 ~ D22)、定着長 (鉄筋径 D の整数倍) をパラメータとし、本開発品の規格降伏強度以上の定着力を確保する定着長 (以後、「必要定着長」と称す) を算出した。

試験の結果を表一 1 に示す。SD390 の場合、六角ナットがある埋込み側で 4D ~ 5D、六角ナットのない手前側で 6D ~ 7D の定着長を確保することで、本開発品の規格降伏強度以上の定着力を確保できることを確認した。

(2) 梁状試験体の正負交番载荷試験

本開発品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、本開発品で補強した梁状試験体



写真一 2 引き抜き試験状況

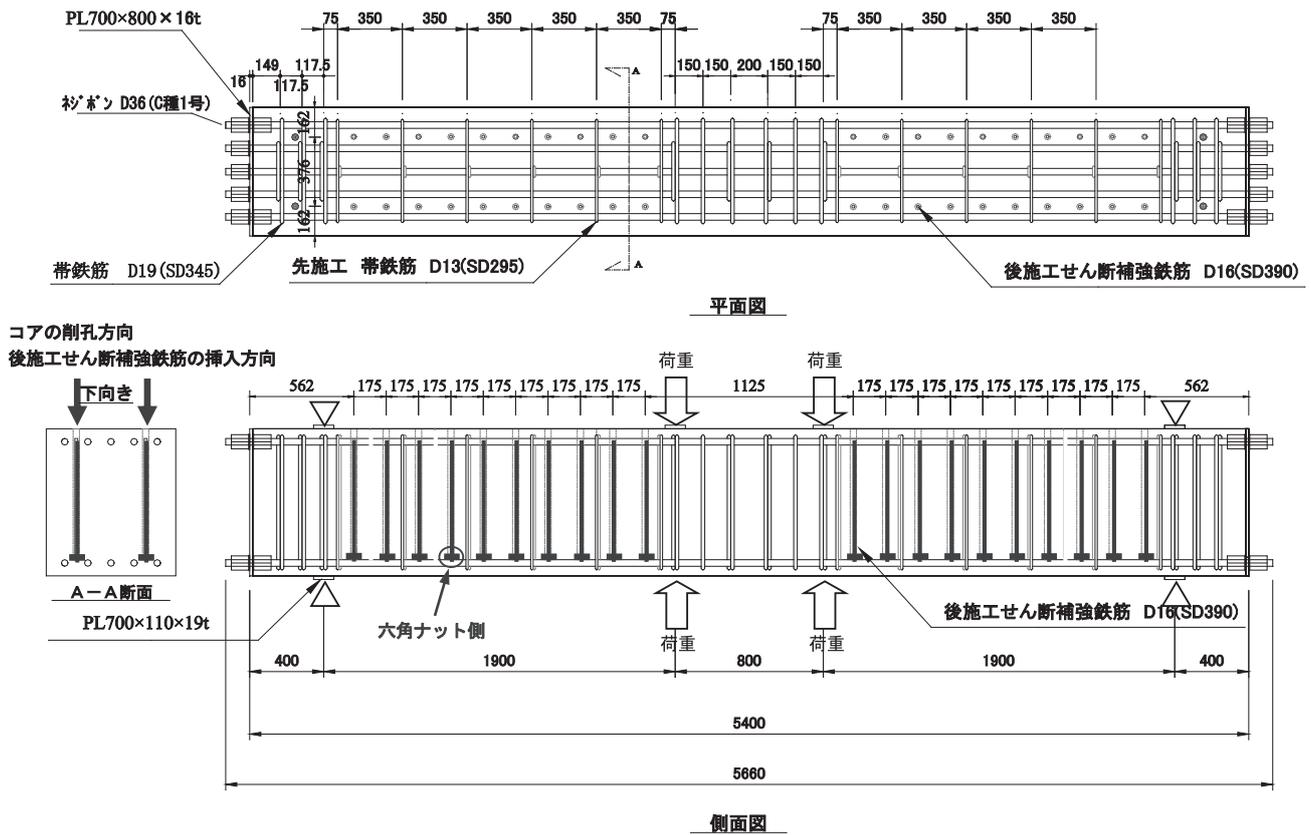
表一 1 本開発品の必要定着長

| 鉄筋の種類 | SD390 | | 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 |
| D19 | 5D | 7D | 5D | 6D |
| D22 | | | | |

(D：鉄筋径)

の正負交番载荷試験を実施した。表一 2 に試験ケース、図一 3 に試験体の配筋図の一例を示す。

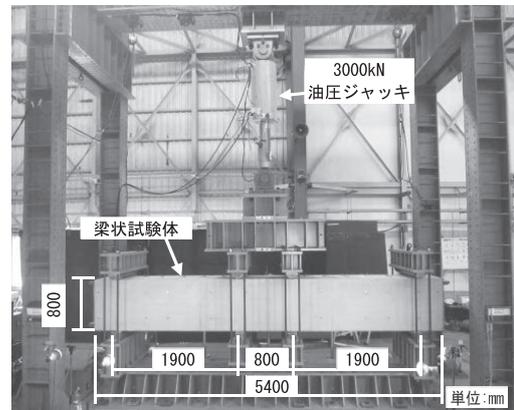
試験は、通常の既設部材を模したせん断破壊先行型の梁状試験体 (幅 700 × 高さ 800 × 長さ 5,400 mm) に、D16@175 mm および D22@265 mm × 2 列の後施工せん断補強鉄筋を配置した試験体 2 体 (CASE-2, 4) と、比較用として、後施工せん断補強していない試験体 2 体 (CASE-1, 3) の計 4 体について行った。試験実施状況を写真一 3 に示す。



図—3 梁状試験体配筋図 (CASE-2)

表—2 正負交番載荷試験ケース

| | 後施工せん断補強鉄筋 | | | 先施工せん断補強鉄筋 | | |
|--------|------------|-------|--------------|------------|-------|--------------|
| | 呼び名 | 種類 | 設置間隔 | 呼び名 | 種類 | 設置間隔 |
| CASE-1 | - | - | - | D13 | SD295 | 350 mm 3列 |
| CASE-2 | D16 | SD390 | 175 mm 2列 | D13 | SD295 | 350 mm 3列 |
| CASE-3 | - | - | - | D10 | SD345 | 265 mm 3列 |
| CASE-4 | D22 | SD390 | 265 mm 2列 | D10 | SD345 | 265 mm 3列 |

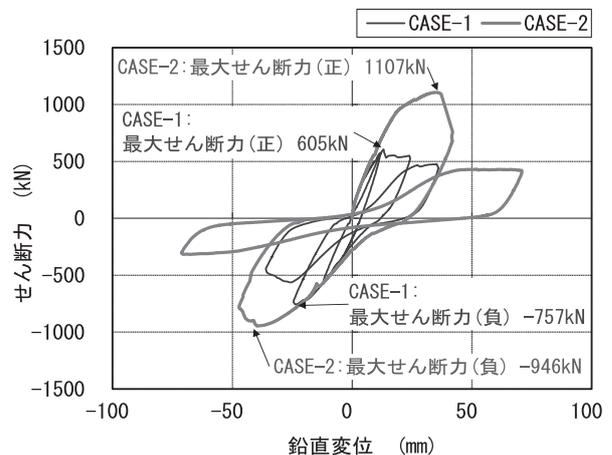


写真—3 正負交番載荷試験状況

載荷方法は、1 サイクル目に計算上のせん断耐力を載荷し、以降1 サイクル目の変位 δ_0 の整数倍を変位制御により載荷し、各サイクルにおける繰り返し回数は1回の載荷とした。試験結果の一例として、D16で補強した試験体と無補強の試験体によるせん断耐力—鉛直変位関係を図—4に示す。本開発品による補強により、せん断耐力が増加し、後施工せん断補強効果が確認された。

(3) 本開発品によるせん断耐力の評価

本開発品は、既設構造物のせん断補強鉄筋に比べて定着性能は小さいため、既存のせん断耐力式²⁾において算出される値に対して、上限値を設けた有効係数 β_{aw} を乗じることにより評価できることを梁状試験体



図—4 せん断力—鉛直変位関係 D16 (CASE-1, 2)

の正負交番載荷試験結果より確認した。この時、本開発品の有効係数 β_{aw} は式 (3) で算出し、D16, D19 の場合に 0.68, D22 の場合に 0.71 を上限とすることで、安全側に評価できることが確認された。

$$V_{pyd} = V_{cd} + V_{sd} + V_{bd} \dots\dots\dots \text{式 (1)}$$

$$V_{bd} = \beta_{aw} \cdot V_{awd}$$

$$= \beta_{aw} [A_{aw} \cdot f_{awyd} (\sin \alpha_{aw} + \cos \alpha_{aw}) / S_{aw}] z / \gamma_b \dots\dots \text{式 (2)}$$

$$\beta_{aw} = 1 - (l_{y1} + l_{y2}) / 2(d - d') \dots\dots\dots \text{式 (3)}$$

ただし、

- { $\beta_{aw} \leq 0.68$: 「本開発品」が D16, D19 の場合
- { $\beta_{aw} \leq 0.71$: 「本開発品」が D22 の場合

ここで、

V_{cd} : せん断補強鉄筋を用いない RC 部材の単位長さ当りのせん断耐力

V_{sd} : 既存のせん断補強鉄筋により負担される RC 部材の単位長さ当りのせん断耐力

V_{bd} : 「本開発品」により負担される単位長さ当りのせん断耐力

V_{awd} : 「本開発品」を通常のせん断補強鉄筋と見なして求められる単位長さ当りのせん断耐力

β_{aw} : 「本開発品」のせん断耐力向上の有効性を示す係数 (ただし部材厚 400 mm 未満は適用外)

A_{aw} : 単位長さ当りの区間 S_{aw} における「本開発品」の総断面積

f_{awyd} : 「本開発品」の設計降伏強度で $25f'_{cd}$ (N/mm²) と 800 N/mm² のいずれか小さい値 (f'_{cd} : コンクリートの設計圧縮強度)

α_{aw} : 「本開発品」が部材軸となす角度

S_{aw} : 「本開発品」の配置間隔

z : 圧縮応力の合力の作用位置から引張鋼材図心までの距離で一般に $d/1.15$ としてよい (d : 有効高さ)

γ_b : 一般に 1.1 としてよい

l_{y1} : 「本開発品」の必要定着長 (ナット側)

l_{y2} : 「本開発品」の必要定着長 (ナットなし側)

$d - d'$: せん断補強対象部材の圧縮鉄筋と引張鉄筋の間隔

4. 施工方法

本開発品による後施工せん断補強の標準的な施工手順は、図-5 に示す通り、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本開発品の挿入、⑥表面仕上げ、である。本開発品は、横向き、下向きおよび上向きの施工が可能である。上向きおよび横向きの可塑性モルタルの充填および本開発品の挿入は、

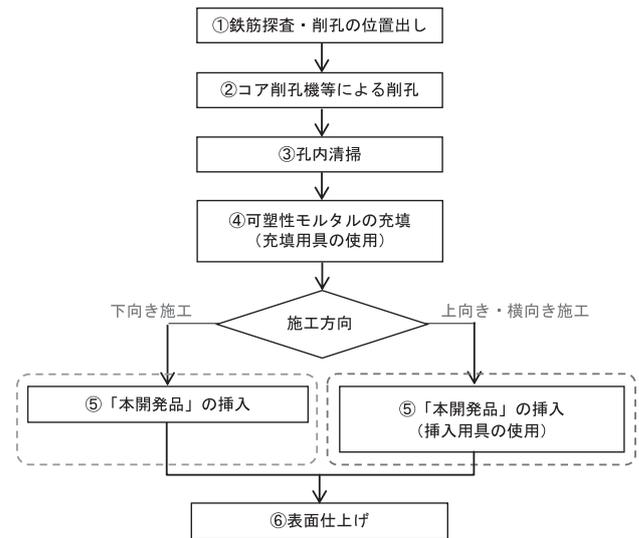


図-5 標準施工フロー

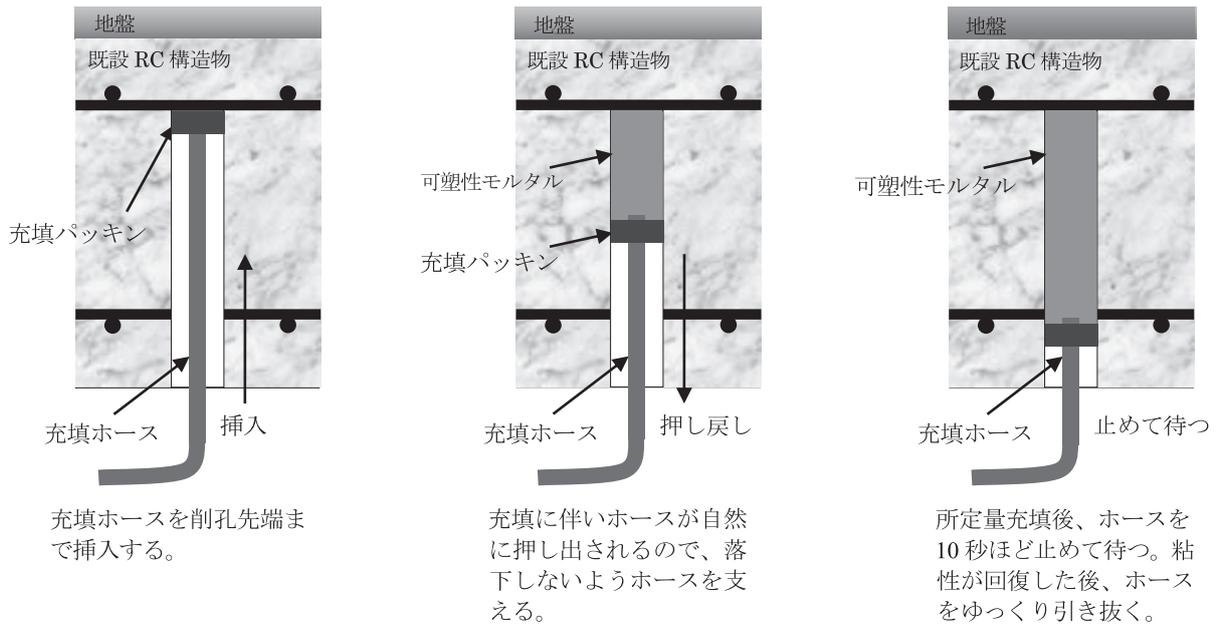
モルタル充填時の空隙の発生および鉄筋挿入時の垂れによる充填不良を回避するため、充填・挿入専用治具を用いて図-6, 7 に示す手順で実施する。

上記の方法により定着させた本開発品をモルタル硬化後に割裂・切断し内部の状況を確認した結果、写真-4 に示すとおり、全体にモルタルが充填され空隙が無いことが確認できた。

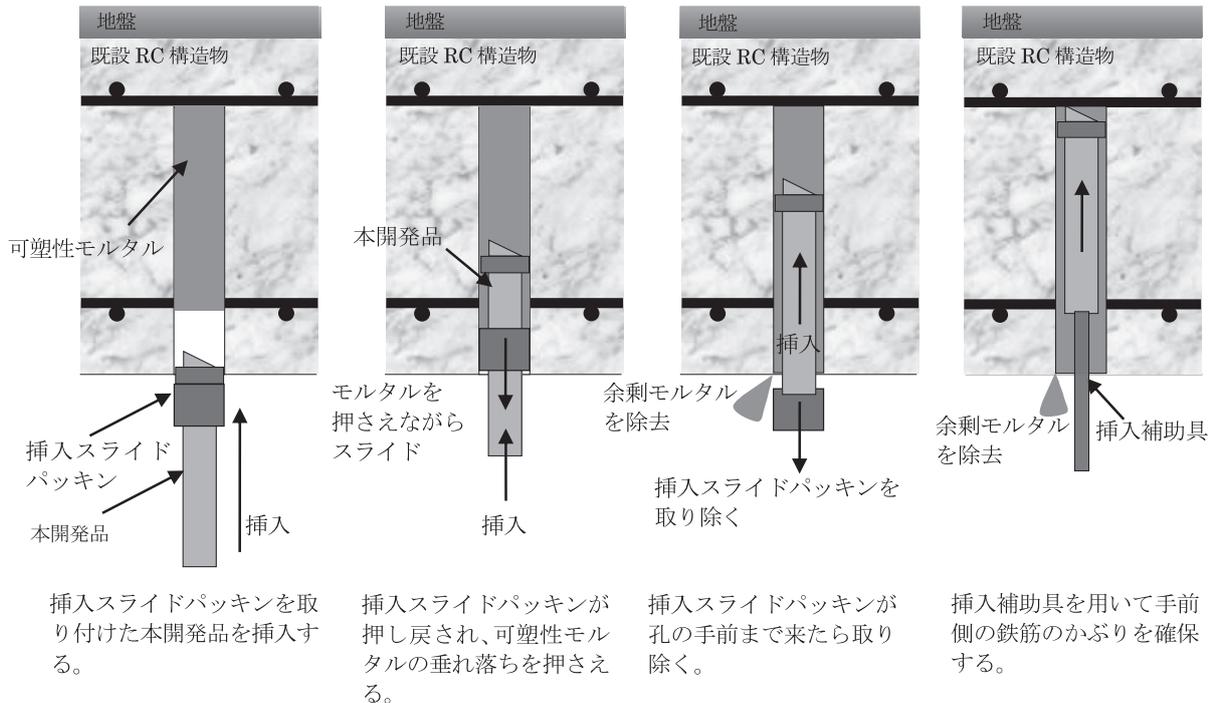
5. 適用範囲

本開発品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 (建技審証 第 1506 号) を平成 27 年 11 月に取得している。耐震補強の目的で使用するにあたり、以下に示す適用範囲を設定している。

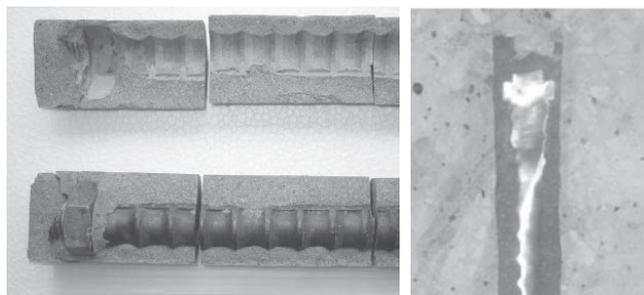
- (1) 背面に地盤等がある構造物、鉄道や道路等に近接した構造物および施工の合理性が求められる構造物等において、地上および地下の既存鉄筋コンクリート構造物の部材 (壁, 底版, 頂版, 柱, 梁等) に対して、片側面からの後施工によるせん断補強の目的で用いる。
- (2) 適用可能な構造物の部材厚は、下向き・横向き施工で 400 ~ 4000 mm, 上向き施工で 400 ~ 2000 mm とする。
- (3) 原則として、圧縮強度 20 ~ 40 N/mm² 程度の既存鉄筋コンクリート構造物に用いる。
- (4) 「本開発品」は、JIS G 3112 「鉄筋コンクリート用棒鋼」に適合する異形棒鋼 (SD345 と SD390 の D16 ~ D22) および JIS B 1181 「六角ナット」に適合する六角ナット (3 種) を用いる。



図一6 可塑性モルタルの充填詳細図



図一7 本開発品の上向き挿入・固定詳細図



試験用パイプへ充填後に割裂
写真一4 モルタルの充填確認
充填後に切断

6. おわりに

本開発品ベストグラウトバーによるせん断補強工法は、施工の確実性と省力化が図れる後施工せん断補強工法として開発し、建設技術審査証明の取得後に下水道施設に適用した。既設構造物の長寿命化が求められるなか、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ともに、安全で安心な社会の維持発展の一助となるよう、工法の普及展開に努めたい。



《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,「2012 年制定 コンクリート標準示方書設計編」, pp.177-187, 2013.3

【筆者紹介】

山口 治 (やまぐち おさむ)
㈱奥村組
東日本支社 リニューアル技術部技術課
首席課員



三澤 孝史 (みさわ たかし)
㈱奥村組
技術研究所 土木研究グループ
グループ長



廣中 哲也 (ひろなか てつや)
㈱奥村組
技術研究所 土木研究グループ
首席研究員

