

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

Development of Anchor which is used after construction for Shear Reinforcement “Site-fit Nailing Bar (SNB)”

佐藤 幸三 *

Kozo Sato

西田 徳行 ***

Noriyuki Nishida

藤波 亘 **

Takeshi Fujinami

西見 宣俊 ****

Nobutoshi Nishimi

要 約

あと施工せん断補強「サイトフィットネイリングバー (SNB)®」工法は供用中の RC 部材のせん断補強を部材片面からあと施工にて行うためのせん断補強工法である。あと施工タイプのせん断補強鉄筋の施工においては、既設 RC 部材の部材厚や配筋ピッチ等が竣工図と実際の現場で相違する場合があることや、施工箇所が狭隘であることが問題となっている。そこで、本工法は、両端に現場で装着可能な特殊ナットを配置した「サイトフィットネイリングバー (SNB)®」と水に浸漬するだけで所定の性能を発揮する「SNB カプセル」を用いることによって、現場での即応性、作業の簡素化、汎用機器での施工等、実施工における適用性に優れた工法となっている。「サイトフィットネイリングバー (SNB)®」は（一財）土木研究センターからナット定着型あと施工せん断補強鉄筋として建設技術審査証明（第 1507 号，平成 27 年 12 月 14 日）を取得した。

目 次

- § 1. はじめに
- § 2. 性能確認試験
- § 3. 施工確認試験
- § 4. おわりに

§ 1. はじめに

旧耐震設計法によって設計され現在供用されている RC 部材は、現在の耐震設計法におけるレベル 2 地震動に相当する地震力を受けた場合に、部材のせん断耐力が不足することが予想される。

補強工事を行う場合にも、供用中の地下構造物（背面を地盤に接する水槽構造物やボックスカルバート構造物）では、構造物内側からしかできないことが課題となっていた。

従来から、部材片側からの耐震補強の一つの方法として、図-1 に示すような表面に鋼板を貼付け、これを差筋で固定する方法も行われている。しかし、この方法

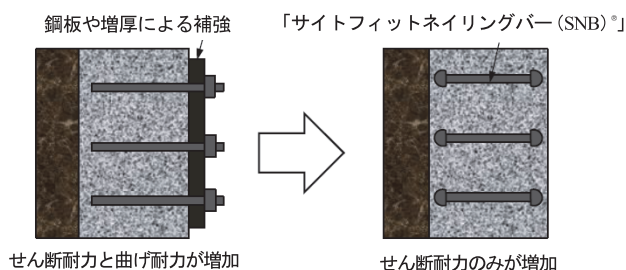


図-1 従来工法との比較

では、せん断耐力は大きくなるが、曲げ耐力も増加してしまい、曲げ破壊先行にならず構造物の耐震安全性の向上が望めない場合があった。

「サイトフィットネイリングバー (SNB)®」工法は、このような従来方法では補強が難しいとされていた供用中の RC 部材に対して、部材の片側からのみの施工が可能で、かつ、せん断耐力のみを向上させて、せん断耐力／曲げ耐力の比を向上させることで、所要の地震時の安全性を確保するあと施工せん断補強工法として開発された。先端の特殊ナットは、現場でトータツエポキシを用いてセットが可能であるため、対象 RC 部材の配筋状態に合わせた施工が可能であるとともに、「SNB カプセル」と併せて施工の効率化、迅速化を可能とした。図-2 に「サイトフィットネイリングバー (SNB)®」（以下

* 技術研究所

** 土木設計部設計1課

*** 土木部リニューアル課

**** 土木設計部設計3課

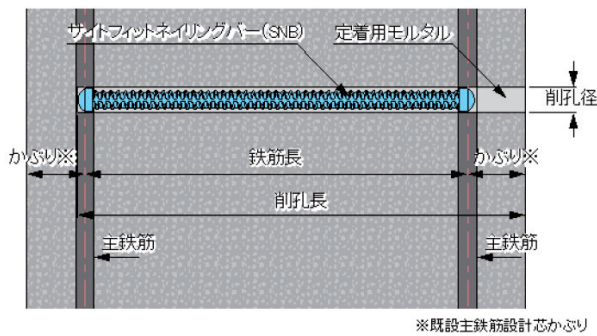


図-2 「サイトフィットネーリングバー (SNB)®」の概要

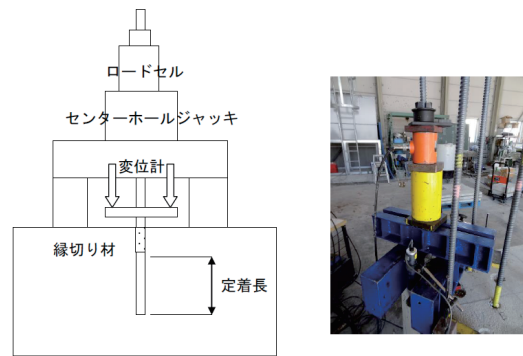


図-3 引抜き試験方法および試験状況



写真-1 「SNB」

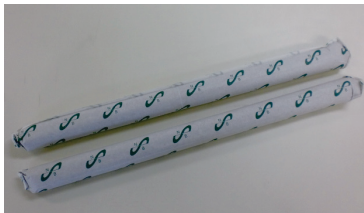


写真-2 「SNB カプセル」

「SNB」の概要、写真-1に「SNB」、写真-2に「SNB カプセル」を示す。

§2. 性能確認

2-1 付着強度試験

(1) 目的

各鉄筋径 (D16 ~ D25, SD345) に対応した「SNB」の規格降伏強度相当以上の定着力を確保できる定着長を明らかにする。

(2) 試験方法

RCブロック内にトータツエポキシにより固定された先端部を有する「SNB」を定着した引抜き試験を行い、伸び変位、載荷荷重を計測する。「SNB」の定着には「SNB カプセル」を用いて、充填長さおよび緑切り材を調整することにより定着長を変化させた。図-3に試験方法および状況を示す。

(3) 試験結果

図-4～図-7に鉄筋径毎の最大引張強度と定着長との関係を示す。

定着長3Dは、D16を除き規格降伏点以下の荷重で付着破壊した。

定着長4Dは、全ての鉄筋径で規格降伏点以上の荷重で付着破壊した。

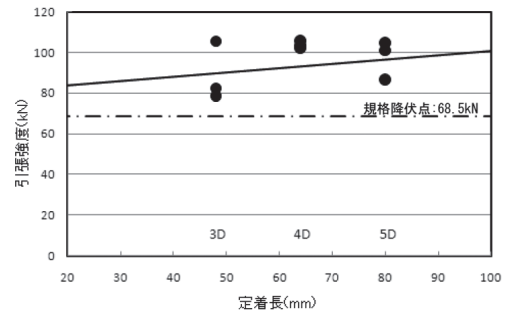


図-4 最大引張り強度と定着長 (SNB-D16)

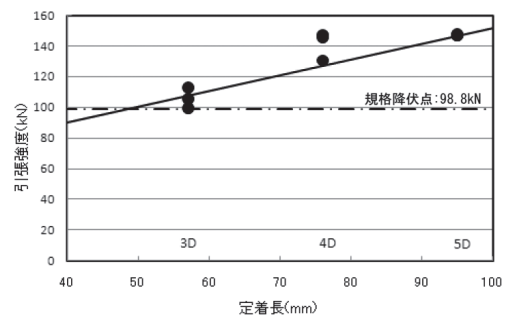


図-5 最大引張り強度と定着長 (SNB-D19)

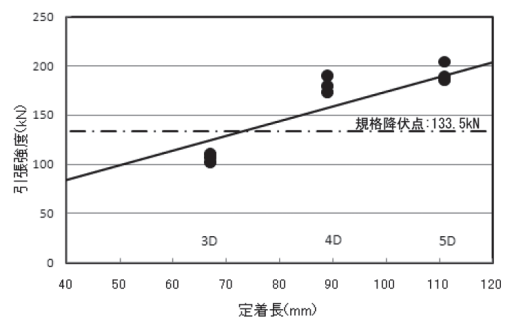


図-6 最大引張り強度と定着長 (SNB-D22)

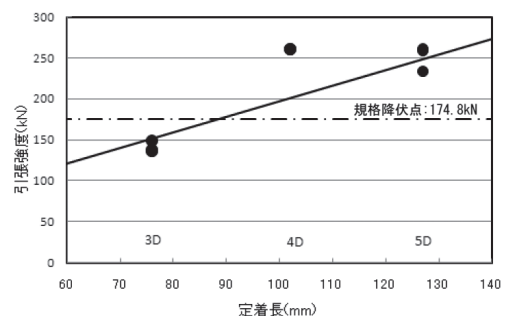


図-7 最大引張り強度と定着長 (SNB-D25)

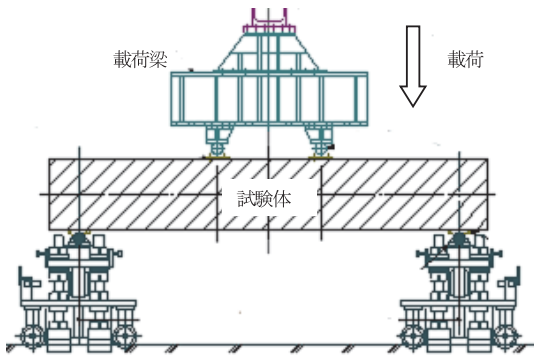


図-8 せん断試験装置

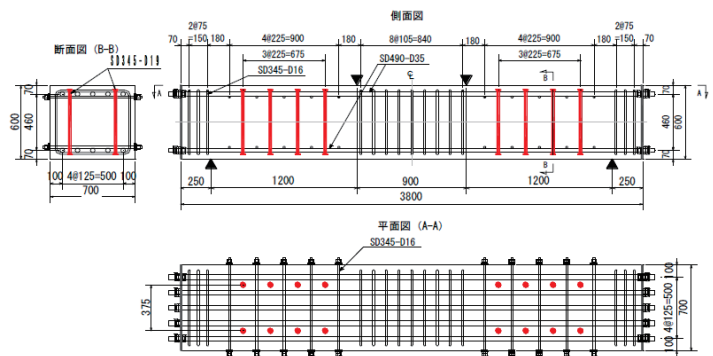


図-9 せん断試験用供試体例（部材厚 600 mm）



写真-3 せん断試験状況

定着長 5D は、全ての鉄筋径が規格降伏点以上の荷重で付着破壊した。

以上から、4D 以上の定着長があれば、規格降伏強度以上の定着力を確保できることが分かった。

2-2 せん断耐力確認試験

(1) 目的

「SNB」をあと施工した梁試験体のせん断耐力とせん断補強鉄筋を配置していない試験体のせん断耐力を比較することによって、「SNB」のせん断補強効果を確認する。

(2) 試験方法

梁試験体は、部材厚 600 mm および 1,000 mm とした。部材厚 600 mm の試験体は D19 の「SNB」でせん断補強したもの、部材厚 1,000 mm の試験体は D19 と D25 の「SNB」でせん断補強したものを用意した。各々の部材厚の試験には、せん断補強鉄筋を配置していない試験体も用意した。

図-8 に試験装置図、図-9 に試験体構造図の例（部材厚 600 mm）を示す。

(3) 試験結果

図-10 に試験終了後の試験体の状況例（部材厚 600 mm）、写真-3 に試験状況を示す。部材厚 600 mm、1000 mm の供試体いずれもせん断で破壊しており、その時のせん断耐力は土木学会コンクリート標準示方書〔設計編〕での計算値と大きな差異は無かった。

したがって、部材厚 600 mm、1000 mm とともに「SNB」

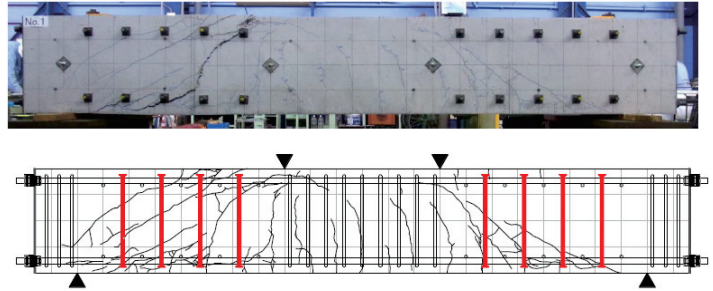


図-10 せん断試験後の供試体例（部材厚 600 mm）

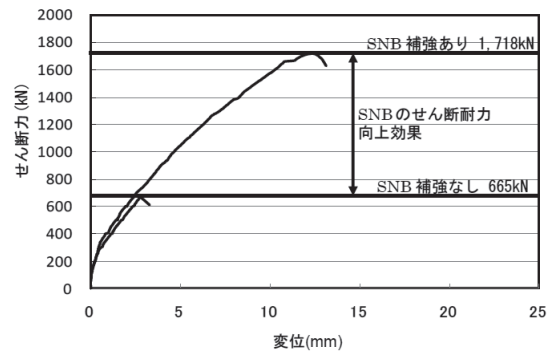


図-11 せん断試験結果（部材厚 600 mm）

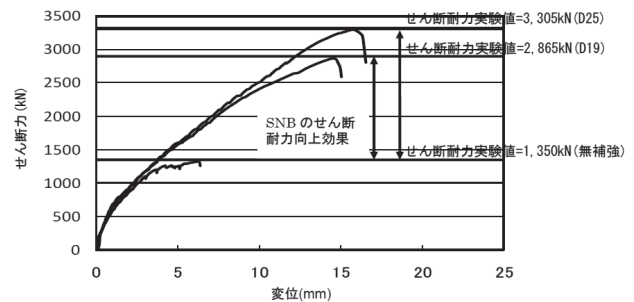


図-12 せん断試験結果（部材厚 1,000 mm）

で補強した試験体と補強なしの試験体の最大耐力の差分を取ることで「SNB」のせん断耐力向上効果を評価できる。（図-11, 12）

(4) せん断補強効果の考え方

せん断ひび割れを架橋するせん断補強鉄筋を考えたとき、せん断ひび割れが破断位置にある場合はそのせん断補強鉄筋はせん断力を負担することができず、一方、破断位置から定着長 l_y 以上離れた位置にせん断ひび割れ

があるせん断補強鉄筋では、付着により十分な定着性能が確保されていると判断され、降伏強度相当のせん断力を負担することができる。また、破断位置から定着長 l_y 以下の範囲にせん断ひび割れがあるせん断補強鉄筋は、ある程度のせん断力は負担できるが定着性能が低下しているため、降伏強度相当より小さなせん断力のみが負担できるとした。その場合、せん断ひび割れからのせん断補強鉄筋の定着長に従って、負担できるせん断力を線形で仮定したものが、図-13に示す概念図である。

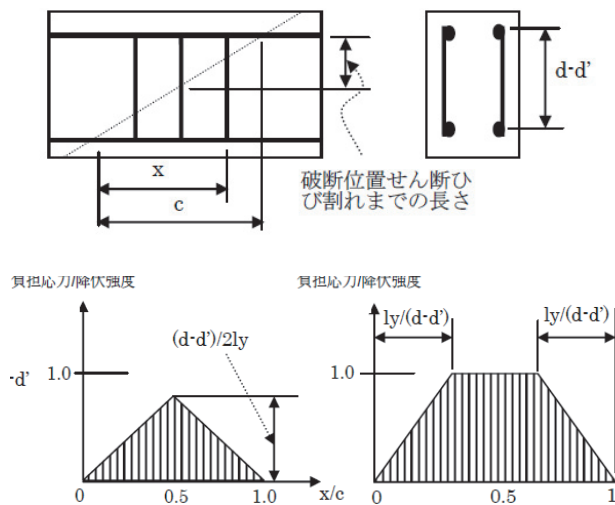
この仮定によれば、破断した鉄筋の負担応力の低下率 η は式（1）と式（2）で表すことができる。

$$\eta = (d - d') / (4 l_y) \quad (d - d') \leq 2 l_y \quad \text{..... (1)}$$

$$\eta = 1 - l_y / (d - d') \quad (d - d') > 2 l_y \quad \text{..... (2)}$$

一部のせん断補強鉄筋のみが破断している場合には、その破断割合 α を考慮すると、破断したせん断補強を含む有効率 β は式（3）となる。

$$\beta = \eta \alpha + (1 - \alpha) \quad \text{..... (3)}$$



「SNB」の定着長 l_y が $4d$ であることと、「SNB」の適用部材における主鉄筋間隔が $2l_y$ 以上であるとする、 η の算出は式（2）を基本とすることができる。また、式（3）において破断している鉄筋は無いことから $\alpha = 1$ とすると、「SNB」を用いたせん断補強の有効率 β は式（4）により算出することができる。

$$\beta = \eta = 1 - l_y / (d - d') \quad \text{ただし、} (d - d') > 2 l_y \quad \text{..... (4)}$$

そこで、「SNB」によるせん断耐力の有効率 β を実験結果に基づいて評価する。「SNB」によって負担されるせん断耐力 V_{SNB} は、式（5）に示すように、梁の載荷試験によって求められたせん断耐力 V_{exp} から、コンクリートのみにより受け持つせん断耐力 V_{cexp} を差し引いて求められる。

「SNB」によるせん断耐力の有効性を、前述のように有効率 β により評価する。その場合、「SNB」によるせん断耐力の有効率 β を「SNB」を用いたせん断補強鉄筋を通常のせん断補強鉄筋とみなした場合のせん断耐力負担分に対する有効率 β_{exp} で表すことができ、式（6）のように評価することができる。

$$V_{SNB} = V_{exp} - V_{cexp} \quad \text{..... (5)}$$

$$\beta_{exp} = V_{SNB} / V_{adcal} \quad \text{..... (6)}$$

ここで、

V_{SNB} : 「SNB」により負担されるせん断耐力

V_{exp} : 試験で得られた試験体のせん断耐力

V_{cexp} : 「SNB」を用いない場合の試験体のせん断耐力

V_{adcal} : 「SNB」を通常のせん断補強鉄筋と見なした場合のせん断補強鉄筋負担せん断力の計算値

β_{exp} : 試験で得られた「SNB」のせん断耐力の有効率

表-1 に試験から求められた有効率と計算から求められる有効率を示す。

表-1 試験で得られた有効率と計算上の有効率

部材厚	試験体	コンクリート強度	せん断補強鉄筋	終局耐力		計算値			有効率	
				V_{cexp}	$V_{exp}^{※}$	V_{ccal}	$V_{SNBexp} / (V_{exp} - V_{cexp})$	V_{adcal}	$\beta_{exp} (V_{SNBexp} / V_{adcal})$	β_{cal}
600mm	①	32.8	—	665	—	606	—	—	—	—
	②	33.4	D19	—	1,714	610	1049	858	1.22	0.83
1,000mm	③	30.1	—	1350	—	1218	—	—	—	—
	④	32.2	D19	—	2837	1246	1487	1147	1.30	0.91
	⑤	32.8	D25	—	3245	1246	1895	2026	0.94	0.88

※最大耐力を無補強試験体と補強試験体とのコンクリートの強度の差で補正した値

(5) 設計手法

前述したように、「SNB」によってあと施工補強された RC 部材のせん断補強効果を、「SNB」を通常のせん断補強鉄筋と見なして求められるせん断耐力負担分に有効率 β を乗じて算出することは、設計上安全側になることが確認された。

有効率の上限値は、D16 の場合は $\beta = 0.92$ 、D19 の場合は $\beta = 0.91$ 、D22 の場合は $\beta = 0.89$ 、D25 の場合は $\beta = 0.88$ とする。これは、今回試験を行った部材厚が、D19 および D25 とともに最大 1,000 mm であり、各試験結果がトラス理論から計算される有効率を上回ったことから、最大部材厚 1,000 mm で確認された有効率を上限値とすることが可能と判断されたためである。主鉄筋かぶり d' を 70 mm とした場合、D16、D19 で 300 mm、D22、D25 で 400 mm 未満、もしくは $d - d' \leq 2 l_y$ の部材厚は適用範囲外とする（図－14 参照）。

実際の構造物においては、既存のせん断補強鉄筋も配置されているので、「SNB」で補強した部材のせん断耐力は式 (7)、式 (8) により「SNB」の寄与を考慮して求めるものとした。

$$V_{yd} = V_{cd} + V_{sd} + V_{SNB} \quad \cdots \cdots (7)$$

$$V_{SNB} = \beta \times V_{ad} \\ = \beta \times [A_w \times f_{wyd} (\sin \alpha_s + \cos \alpha_s) / S_s] \times z / \gamma_b \quad \cdots \cdots (8)$$

$$\beta = 1 - l_y / S_{rb} \quad \cdots \cdots (9)$$

ここで、

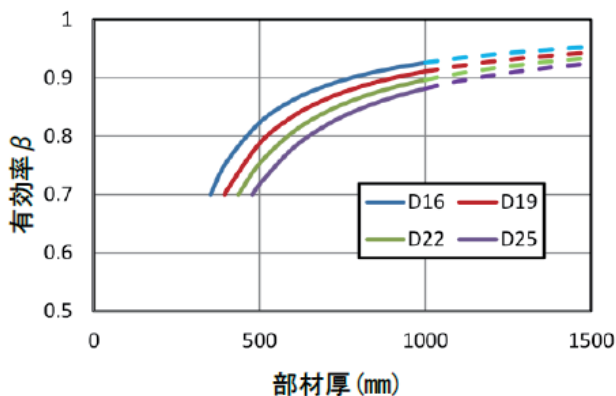
V_{cd} : せん断補強鉄筋を用いない RC 部材の単位長さ当たりのせん断耐力
(コンクリート標準示方書[設計編](2012 年制定))

V_{sd} : 既存のせん断補強鉄筋により負担される RC 部材の単位長さ当たりのせん断耐力
(コンクリート標準示方書[設計編](2012 年制定))

V_{SNB} : 「SNB」により負担される単位長さ当たりのせん断耐力

V_{ad} : 「SNB」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たりのせん断耐力

β : 「SNB」のせん断耐力に対する有効率



図－14 部材厚と有効率 β の関係

但し、D16、D19 の場合で部材厚 300 mm 未満、D22、D25 の場合で部材厚 400 mm 未満は適用外

A_w : 単位長さ当たりの区間 S_s における「SNB」の総断面積

f_{wyd} : 「SNB」の設計降伏強度で 400 N/mm² 以下

α_s : 「SNB」が部材軸となす角度

S_s : 「SNB」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 $d/1.15$ (d は有効高さ)

γ_b : 部材係数 (1.1)

l_y : 「SNB」の定着長 (4D として良い、D : 鉄筋径)

S_{rb} : せん断補強対象部材の圧縮主鉄筋と引張主鉄筋の間隔 ($d - d'$)

d : 有効高さ

d' : 主鉄筋設計芯かぶり

§ 3. 施工確認試験

「SNB」工法の標準的な施工方法は①特殊ナットの取付け（写真－4 一般部は工場で取付けた後納入）②削孔箇所の位置出し、③削孔（写真－5）、④孔内清掃（写



写真－4 特殊ナットの取付け状況



写真－5 ハンマードリルでの削孔状況



写真－6 孔内清掃状況

真－6), ⑤「SNB カプセル」を水中に浸漬, ⑥「SNB カプセル」挿入 (写真－7), ⑦補強鉄筋の落下防止 (鉛直上向きの場合) (写真－8), ⑧「SNB」の打込み (写真－9), ⑨仕上げる手順である。鉄筋への接触が確認された場合には, 審査証明報告書の付属資料「設計・施工マニュアル」に従って対処する。

施工確認試験を行った結果, 以下の事項が確認された。

(1) 施工の確実性

背面に地盤などがあり, 部材片面からしか施工できない RC 部材のせん断補強に対して, 所要の品質を確保して確実な施工ができる。

(2) 施工の容易性と迅速性

狭隘な空間において, 大型機材を使用せずに容易かつ迅速に施工できる。

(3) モルタル充填性確認試験

水平および鉛直方向に施工したモルタル充填状況を確認するための試験を行った。コンクリート試験体に「SNB」を施工し, 硬化後に「SNB」を含んだコアを採取・割裂して充填状況の確認を行った。割裂したコアの状況写真 (例) を写真－10 に示す。これにより, モルタルが良く充填していることが分かる。

§ 4. まとめ

性能確認試験, 施工確認試験を基に, (一財)土木研究センターにより以下の項目が証明された。

4－1 力学的性能

(1) 「SNB」の定着性能

規格降伏強度相当の定着力を確保するために必要な「SNB」の定着長が $4D$ (D : 鉄筋径) であることが確認された。

(2) 「SNB」配置後のせん断耐力

「SNB」によるせん断耐力の負担分を, 一般的な半円形フック付きせん断補強鉄筋でせん断補強した部材のせん断補強鉄筋によるせん断耐力寄与分に「SNB」の有効率を乗じたものとして評価できることが確認された。

4－2 施工性

(1) 施工の確実性

背面に地盤などがあり, 部材片面からしか施工できない RC 部材のせん断補強に対して, 所要の品質を確保して確実な施工ができることが確認された。

(2) 施工の容易性と迅速性

狭隘な空間において, 大型機材を使用せずに容易かつ迅速に施工できることが確認された。

現時点では, 水道施設対応のモルタルカプセルとなっていないこと, また, 対象部材厚が $300 \sim 1,000 \text{ mm}$ といった条件が付与されているので, 今後, 水道施設対応



写真－7 「SNB カプセル」の挿入



写真－8 上向き施工時の「SNB」落下防止金具



写真－9 「SNB」の打込み



写真－10 モルタルの充填状況 (例)

のモルタルカプセル, 対象壁厚の増大に対応した追加審査を行う予定である。

参考文献：

- 1) あと施工ナット定着型せん断補強鉄筋「サイトフィットネイリングバー（SNB）」審査証明報告書