

# 報告 T型のプレートを用いた壁やスラブのせん断補強工法の開発

前田 敏也\*1・吉武 謙二\*2・西村 晋一\*3

**要旨：**阪神大震災以前の旧耐震基準で設計・施工されたボックスカルバートなどの壁やスラブは、せん断補強筋が少ないため、現行の耐震基準ではせん断耐力が不足する場合がある。これまでに鉄筋挿入などでせん断補強が実施されている例があるが、数十 cm 間隔で膨大な本数の鉄筋を挿入するため、施工性や工期、工費の面で課題が残されている。このような課題を解決するため、2~3m 間隔で溝を切って T 型のプレートを挿入することでせん断耐力を向上させる補強工法を開発し、性能確認試験を行った。その結果、せん断補強効果が得られ、プレートの付着を考慮することで補強後のせん断耐力を評価できること等が明らかとなった。

**キーワード：**壁状部材, 施工性, せん断耐力, T型プレート, 補強

## 1. はじめに

阪神大震災以前の旧耐震基準で設計・施工されたボックスカルバートや擁壁などの構造物は、コンクリートの許容せん断応力度が高く設定されていたことや<sup>1)</sup>、せん断力に対して有効に抵抗できる鉄筋が少ないため、現行の耐震基準ではせん断耐力が不足する場合がある。このため、コンクリートによる増し厚や鉄筋挿入等によるせん断補強が研究・実施されている例がある<sup>2)</sup>。しかし、内空断面が狭くなることや、数十 cm 間隔で膨大な本数の鉄筋を挿入するため、補強後の機能や施工性等の面で課題が残されている。

このような課題を解決するため、壁やスラブ等の面状部材に2~3m 間隔で溝を切り、T型のプレートを挿入することによって部材のせん断耐力を向上させる工法を開発した。ここでは、工法の補強効果や施工性を確認するために実施した各種の試験について述べる。

## 2. 補強工法の概要

### 2.1 補強方法とその効果

図-1 に工法の概要を示す。本工法は、壁やスラブ等の面状部材の表面に2~3m 間隔で部材厚方向に幅20~30mm の溝を切り、その中に写真-1 に示す厚さ6~9mm 程度の T 型の補強プレート（以下、T プレート）を挿入後、エポキシ樹脂を注入することによって接着し、部材をせん断補強する工法である。従来の鉄筋挿入工法では、補強鉄筋1本の有効範囲が狭いために複数本の鉄筋で広い範囲のせん断力に抵抗していた。これに対し、本工法では、エポキシ樹脂で接着された1枚の T プレートの有効範囲が広いために1枚の T プレートで広い範囲のせん断力に抵抗できる。その結果、施工箇所が限定されて施工性が向上するとともに、支障物があるために従来工法

で補強できない場合等に有効である。

### 2.2 施工手順

本工法の施工手順を図-2 に示す。

#### (1) 鉄筋探査

施工に先立ち、T プレートと主鉄筋が干渉しないように挿入箇所近傍の鉄筋探査をレーダー等の非破壊試験機を用いて行う。鉄筋挿入工法がほぼ全域を探査対象とするのに対し、本工法では T プレートを挿入する箇所だけに探査範囲が限定されるため効率的である。

#### (2) 溝切り

鉄筋探査後、T プレートを挿入するための溝切りをボーリングマシンやウォールカッター等で行う。溝の深さは背面側鉄筋の手前までとする。ウォールカッターは円弧状のため、溝の端部はボーリングマシンによる連続コア削孔を行う。溝切りの際には配力筋を切断するため、T プレート挿入後にフレア溶接等によって復旧する。

#### (3) はつり

T プレート埋込みおよび配力筋の復旧のため、かぶりコンクリートを配力筋位置まではつる。

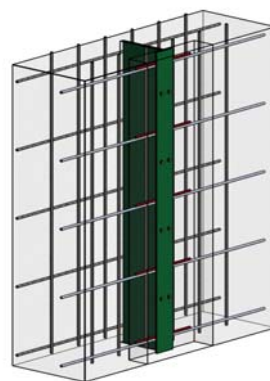


図-1 補強工法の概要

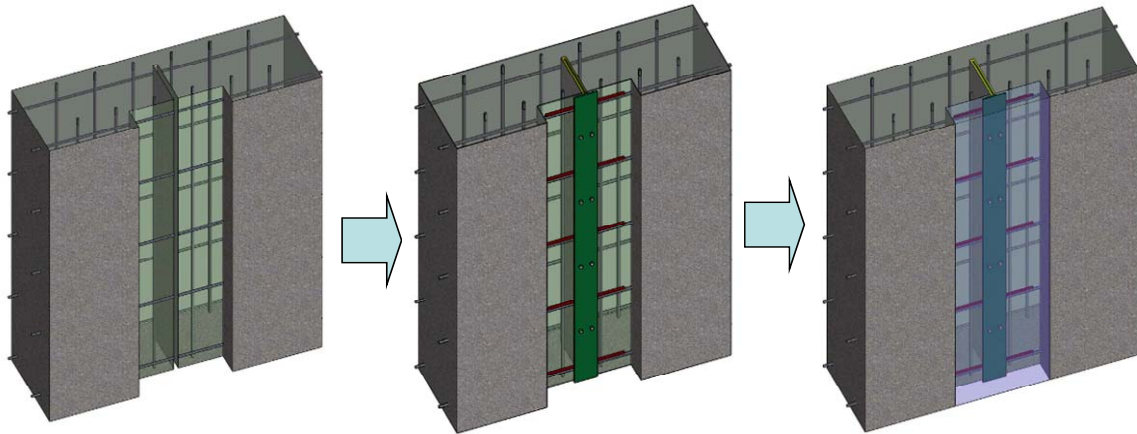


写真-1 Tプレート

\*1 清水建設（株） 土木技術本部 工博（正会員）

\*2 清水建設（株） 技術研究所 工博（正会員）

\*3 清水建設（株） 土木技術本部 工修



(1) 鉄筋探査, (2) 溝切り, (3) はつり (4) Tプレート設置, (5) 配力筋復旧 (6) 断面修復, (7) 樹脂注入

図-2 施工手順

#### (4) Tプレート設置

溝にTプレートを挿入してアンカーボルトで固定する。Tプレートは人力で施工することを考慮して1枚当たり15~20kg程度の重さに分割する。Tプレートのウェブにはエポキシ樹脂の充填性を向上させるための穴(φ50mm程度)や配力筋を復旧するための添筋を通す穴(φ25mm程度)が、またフランジにはTプレート固定用の穴(φ10mm程度)やエポキシ樹脂注入(φ25mm程度)およびエア抜き(φ10mm程度)のための穴が設けられている。Tプレート設置後、エポキシ樹脂の注入孔およびエア抜き孔を設置する。

#### (5) 配力筋復旧

配力筋の位置に合わせてウェブに開けられた穴に添筋を貫通させ、フレア溶接等で配力筋と一体化させる。

#### (6) 断面修復

はつり部の断面修復をポリマーセメントモルタルや無収縮モルタルで行う。断面修復に先立ち、Tプレートおよびコンクリートのはつり面にプライマーを塗布して付着力を高める。

#### (7) 樹脂注入

溝の隙間にエポキシ樹脂を注入してTプレートを接着する。

### 2.3 設計手法

本工法で補強された部材のせん断耐力は、他の一般的な補強工法と同様に、補強前のコンクリートおよびせん断補強鋼材が受け持つせん断耐力に、補強材であるTプレートが受け持つせん断耐力を足し合わせて算定する。ここで、補強前の部材のせん断耐力は、「土木学会：コンクリート標準示方書〔設計編〕<sup>3)</sup>」に準じ、通常の鉄筋コンクリート部材のせん断耐力算定式を用いて算定する。一方、Tプレートが受け持つせん断耐力は、後述するTプレートで補強した部材の載荷試験および鋼板の付

着試験の結果から、以下の式により算定する。

$$V_{tyd} = V_{cd} + V_{sd} + V_{td} \quad (1)$$

ここに、 $V_{tyd}$ ：Tプレートで補強された部材のせん断耐力

$V_{cd}$ ：補強材を用いない部材のせん断耐力

$V_{sd}$ ：既存の補強材により受け持たれる部材のせん断耐力

$V_{td}$ ：Tプレートにより受け持たれる部材のせん断耐力で式(2)による。

$$V_{td} = A_{tw} \cdot f_{ty} \cdot \gamma_t / 1.15 / \gamma_b \quad (2)$$

$A_{tw}$ ：せん断ひび割れ近傍のTプレートウェブの断面積で式(3)による。

$$A_{tw} = t \cdot d \cdot k \quad (3)$$

$t$ ：Tプレートのウェブの厚さ(mm)

$d$ ：部材の有効高さ(mm)

$k$ ：Tプレートのウェブの孔による有効断面率で0.8とする。

$f_{ty}$ ：Tプレートの設計降伏強度(N/mm<sup>2</sup>)

$\gamma_t$ ：Tプレートの付着により有効に抵抗できる寄与率で式(4)による。

$$\gamma_t = B_e / d \quad (4)$$

$$B_e = d - L_e \quad (5)$$

$L_e$ ：Tプレートとコンクリートとの有効付着長で鋼板の場合250mmとする。

$\gamma_b$ ：部材係数で1.1とする。

Tプレートは、エポキシ樹脂によってコンクリートと接着、一体化されることにより、せん断力に抵抗する。したがって、Tプレートがはく離してコンクリートとの付着が確保できない領域では、Tプレートがせん断抵抗に寄与しない。ここで、Tプレートの付着特性について、

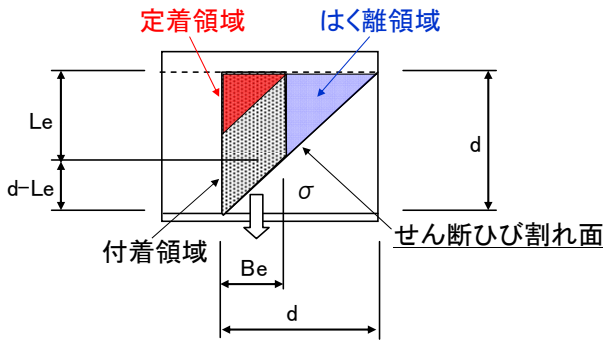


図-3 Tプレートのせん断抵抗機構

後述する鋼板の付着試験や載荷試験の結果、厚さ 4.5～9mm の鋼板と圧縮強度 30N/mm<sup>2</sup> 程度のコンクリートとの有効付着長を 250mm とした。これにより、せん断ひび割れ面から 250mm 以上の深さを確保できる T プレートのみがせん断に対して有効に抵抗できるものとし、その割合を式 (4) に示す寄与率で表す。図-3 に T プレートのせん断抵抗の機構を示す。また、式 (3) では、T プレートのウェブに樹脂の充填性を向上させるための貫通孔が設けられているため、有効断面率を 0.8 とする。

### 3. 性能確認試験

#### 3.1 補強した部材の載荷試験

本工法の補強効果を確認するためにスラブの載荷試験を行った。試験体の概要を図-4、表-1 に示す。試験体は幅 2m、長さ 3.35m、厚さ 50cm の実構造物の壁を模擬したスラブで、主筋は D32 (PC 鋼棒 C 種 1 号) を 380mm 間隔、配力筋は D13 (SD295) を 250mm 間隔で配置した。また、No.1 試験体は 6 本の D13 (SD295) のせん断補強筋を 250mm 間隔、No.2 試験体は厚さ 4.5mm の T プレートを 2 列、No.3 試験体は厚さ 9mm の T プレートを 1 列配置してせん断補強を行った。ここで、T プレートは、高さ 450mm のウェブに幅 150mm のフランジを溶接した鋼板 (SS400) で、表面はブラスト処理後、エッチングプライマーを塗布した。T プレートは、曲げ耐力を向上させないように軸方向に 4 分割した。T プレートの接着は、あらかじめウェブの両側にそれぞれ 5mm 程度の隙間を箱抜きしておき、型枠解体後、隙間に鋼板接着用の低粘度エポキシ樹脂を注入して行った。コンクリートの圧縮強度は 30N/mm<sup>2</sup> である。

載荷は、支点間中央の 1 点集中載荷とし、正方向に最大荷重まで載荷した後、負方向に最大荷重まで載荷して試験を終了した。試験では、荷重、支間中央変位、鉄筋および T プレートウェブのひずみを測定した。

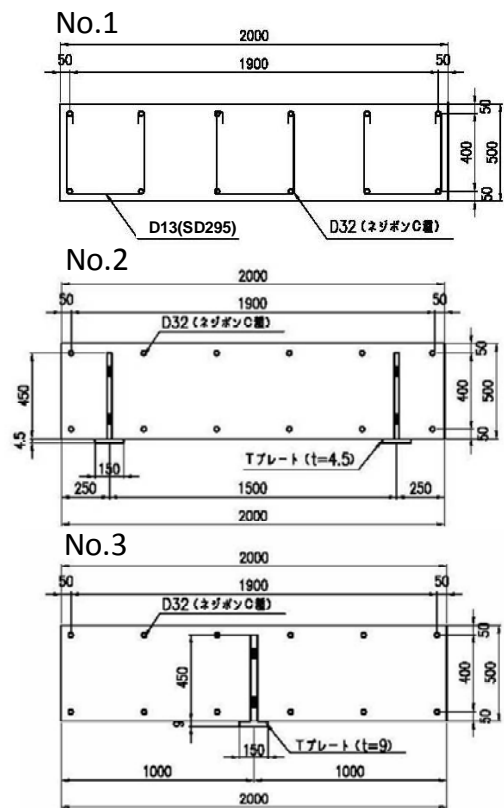
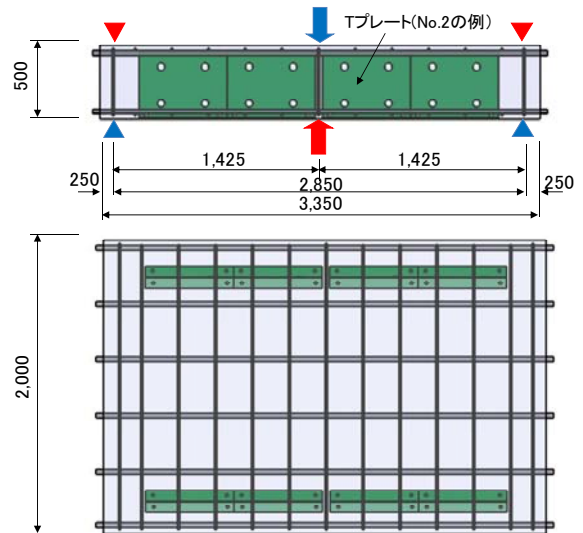


図-4 試験体の概要 (単位: mm)

表-1 材料の物性

材料	材質	強度 (N/mm <sup>2</sup> )
主筋: D32	PC 鋼棒 C 種 1 号	1,167 (降伏)
せん断筋: D13	SD295	387 (降伏)
T プレート	SS400	285 (降伏) 421 (破断)
コンクリート	-----	30 (圧縮)
樹脂	低粘度エポキシ	70 以上 (圧縮) 35 以上 (引張)

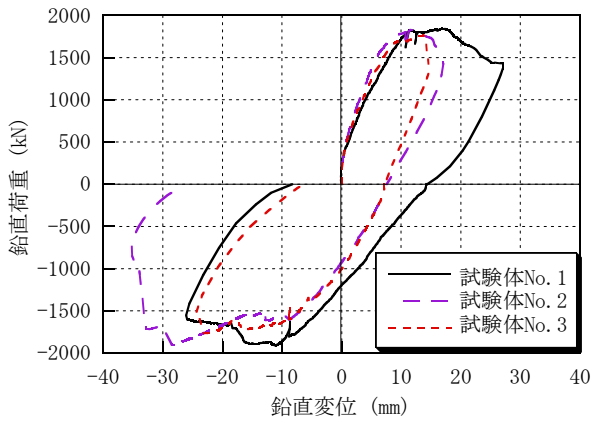


図-5 荷重-変位曲線

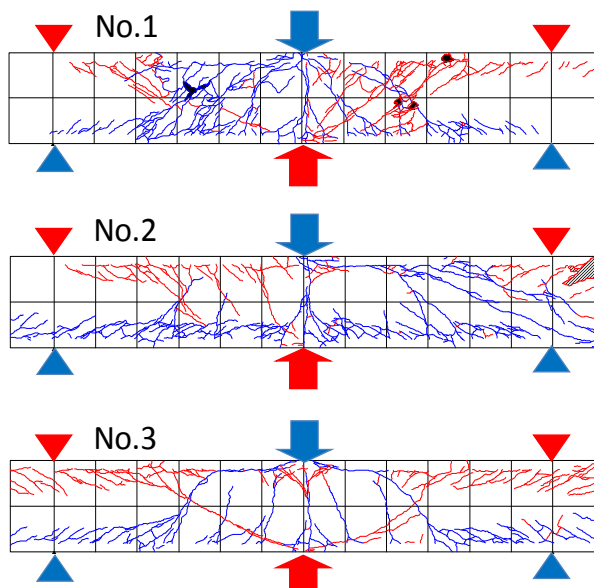


図-6 ひび割れ図

各試験体の各試験体の荷重-変位曲線、ひび割れ状況および補強材のひずみの一例を図-5～7にそれぞれ示す。試験体は、いずれも荷重800～1,000kNでコンクリートに斜めせん断ひび割れが発生し、その後ひび割れの伸展とともに試験体下面にひび割れが貫通してせん断破壊を生じた。また、せん断補強筋やTプレートのひずみは、せん断ひび割れが発生した近傍から徐々に大きくなり、No.1ではせん断補強筋が降伏したが、No.2、No.3ではTプレートのひずみ測定位置で鋼板の降伏に至らなかった。これは、設計式で安全側に設定したプレートの有効付着長が実際には250mmよりも短く、有効に抵抗するプレートの面積が大きいことが原因の一つとして考えられる。ここで、最大荷重を比較すると、各試験体、正負方向ともほぼ同じ値となっており、Tプレートを導入することによってせん断補強効果が得られることがわかる。また、No.2とNo.3との比較から、Tプレート

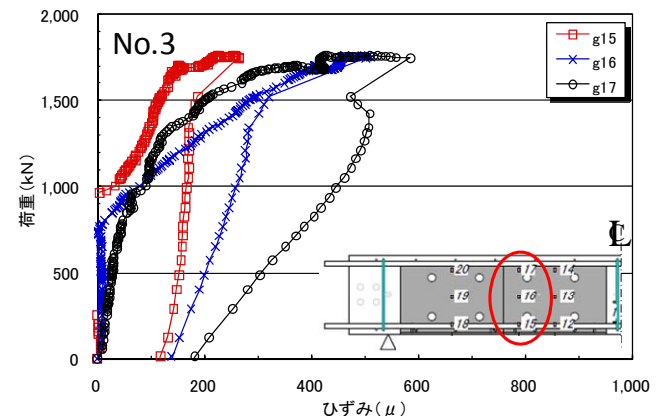
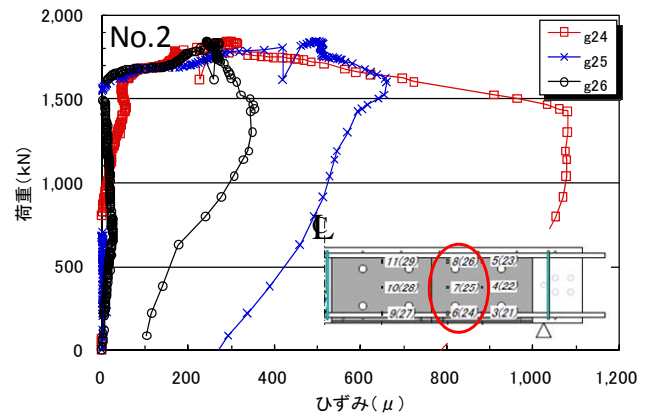
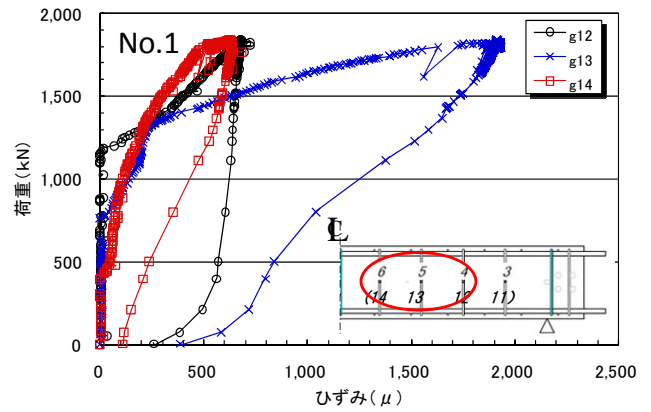


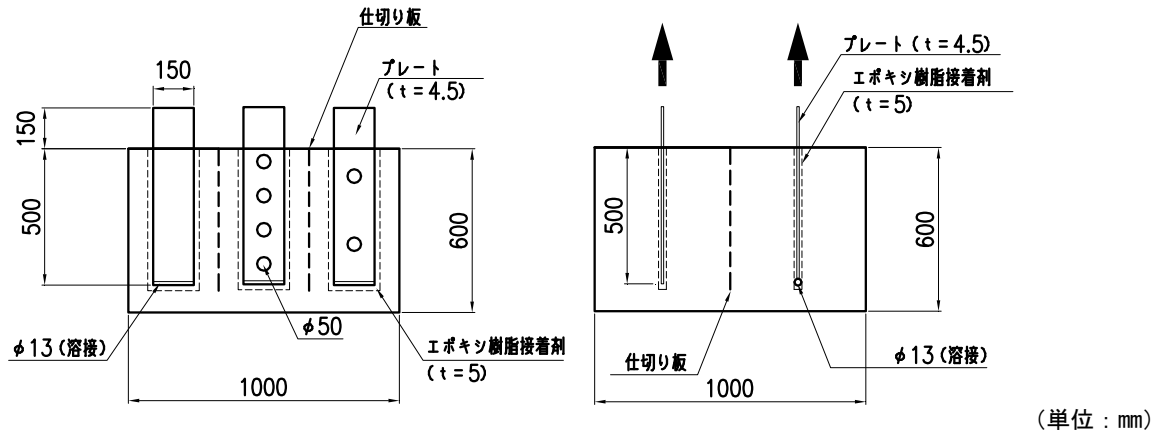
図-7 補強材のひずみ

表-2 実験値と計算値との比較

試験体	計算値(kN)					実験値 (kN)	実験値/ 計算値
	$V_c$	$V_t = A_{tw} \cdot f_{ty} \cdot \gamma_t / 1.15$			$V_{ty}$		
		$A_{tw}$ (mm <sup>2</sup> )	$\gamma_t$	$V_t$			
No.2	527.2	3,443	0.44	309.6	836.8	919/950	1.10/1.14
No.3	527.2	3,443	0.44	309.6	836.8	880/884	1.05/1.05

の厚みと本数、間隔を調整することによって、同じ補強量であれば同等の補強効果が得られると考えられる。





(左から L500D, L500V125D, L500V250D) (左: ずれ止め無、右: ずれ止め有)

図-8 試験体の概要

表-3 試験結果一覧

試験体	定着長 (mm)	孔間隔 (mm)	ずれ止め	最大荷重 (kN)
L500	500	孔無し	無	257.0
L500V125	500	125	無	208.6
L500V250	500	250	無	217.5
L500D	500	孔無し	有	257.8
L500V125D	500	125	有	213.6
L500V250D	500	250	有	234.4

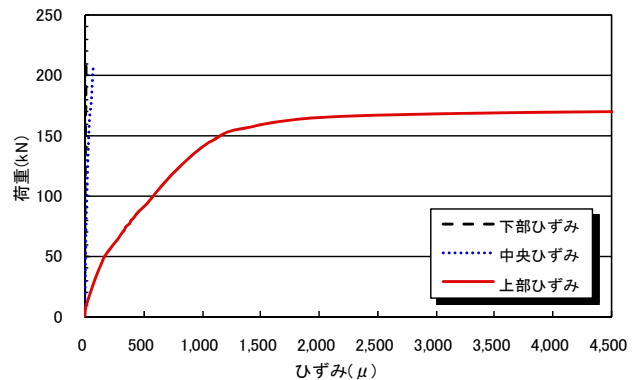


表-2 に最大荷重の試験結果と部材係数を 1.0 とした場合の計算結果との比較を示す。これらの結果から、No.2, No.3 の実験値は計算値に比べて 5~15% 程度大きいものの安全側の結果となっており、先に示した設計手法によって T プレートが受け持つせん断耐力を評価することが可能であると考えられる。

### 3.2 鋼板の付着試験

T プレートとコンクリートとの付着特性を明らかにするため、鋼板の付着試験を行った。試験体の概要を図-8 に示す。試験体は幅約 15mm の箱抜きを設けたコンクリートブロックに厚さ 4.5mm の鋼板 (SS400) を 50cm の深さまでコンクリートに挿入し、周囲にエポキシ樹脂を注入して鋼板を接着した。使用した材料および鋼板の表面処理方法は載荷試験の場合と同様である。鋼板には、φ50mm の孔を 125mm および 250mm 間隔で設けたもの、先端にずれ止めとして φ13mm の鉄筋を溶接したものをを用いた。載荷はセンターホールジャッキを用いて鋼板を鉛直方向に引張り、荷重および埋込んだ鋼板の上、中央、下部 (深さ 0, 250, 500mm) のひずみを測定した。

試験結果の一覧を表-3 に示す。鋼板は孔の間隔やずれ止めの有無に関わらず、全てコンクリート表面近傍で破断した。これらの結果から、孔が無く有効断面積が大

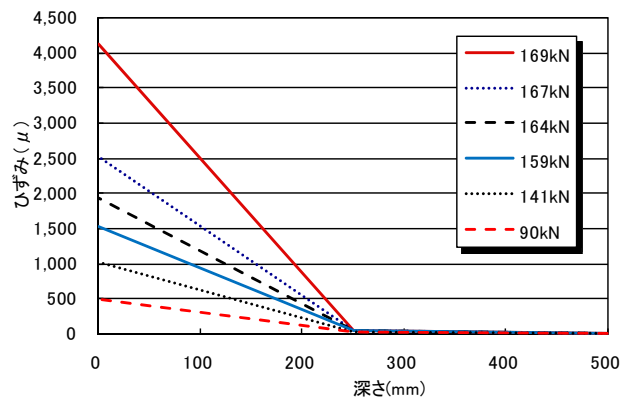


図-9 プレートのひずみ挙動 (L500V125)

きい L500, L500D を除いた最大荷重は 210~230kN と比較的近い値となった。また、図-9 に一例を示すように、鋼板のひずみは埋込み深さ 250mm までしか生じていない。測定間隔が 250mm であるため 250mm より上部のひずみ挙動が把握できていないが、鋼板降伏時のひずみ発生域は 250mm よりも短いと考えられる。したがって、鋼板降伏時の有効付着長は安全側を見て 250mm とする。

### 3.3 施工性確認試験

本工法の施工性について、ボックスカルバートの壁を模擬した高さ 3m、幅 3m、厚さ 50cm の鉄筋コンクリー



(1) 溝切り



(2) はつり



(3) 断面修復

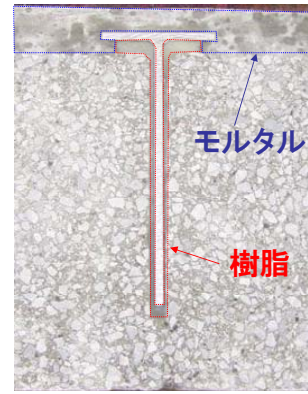


写真-3 樹脂の充填状況

写真-2 施工試験状況

ト試験体を作製し、図-2に示した施工手順で確実に施工ができることを確認した。配筋は主筋，配力筋ともD13(SD295)を250mm間隔，配力筋のかぶり厚は50mm，コンクリートの圧縮強度は30N/mm<sup>2</sup>である。Tプレートは厚さ9mm，フランジ幅150mm，ウェブ高350mmで，1枚の長さを50cm（重量：約15kg）とし，高さ方向に5段設置した。試験状況を写真-2に示す。

#### (1) 溝切り

溝切りは，壁の表面にガイドレールを設置し，油圧式ウォールカッターを上下に移動させて行った。ウォールカッターの刃（厚さ6mm）はφ680mmとφ1,180mmの2種類を使用し，溝の深さは背面側の鉄筋を切断しないように410mmを目標とした。2列の溝切り完了後，溝の内側に残った薄板状のコンクリートをバールやピックではつり出し，幅24mmの溝を形成した。溝の深さは410～420mmであった。なお，壁の上下端はウォールカッターでは円弧状の未切断部が残るため，φ30mmのコアを連続削孔して溝を形成した。

#### (2) はつり

はつりは，水圧2,400bar，水量38ℓ/分のポンプを用いて斜角噴流単穴型のウォータージェット（以下，WJ）により行った。WJは，水平，鉛直方向に設置したガイドフレームによって移動させ，目標はつり深さ76mmに対して実際の深さは80～100mmであった。また，はつり幅は，配力筋のフレア溶接長（鉄筋径の10倍=130mm以上）を確保するため600mm程度とした。なお，フレームの背面や端部のはつりは，電動ピックを用いて行った。

#### (3) Tプレート設置，配力筋復旧

Tプレートを溝に挿入してアンカーボルト(M8)で仮固定し，Tプレートに切断した配力筋の位置をマーキングした後取りはずし，マーキングした位置にマグネットドリルを用いてφ25mmの添筋貫通用の穴をウェブに削孔した。この穴に添筋を通してTプレートを再び挿入・固定し，添筋を配力筋とフレア溶接で一体化した。なお，T

プレートが溝の中心に設置できるように，ウェブの両側にスペーサーを設けて位置を調整した。

#### (4) 断面修復，樹脂注入

Tプレートの最下部に注入孔，上部に50cm間隔でエア抜き孔を設置し，プライマー塗布後，急結剤を添加したポリマーセメントモルタルの湿式吹付けにより約100mmの厚さを1回で断面修復した。断面修復後，注入孔からエポキシ樹脂を電動ポンプを用いて注入し，エア抜き孔から樹脂が漏出するのを確認した。エポキシ樹脂は低粘度でほぼ水平な状態で充填されるため，試験体を切断した結果，写真-3に示すようにTプレートと溝やはつり面との隙間への充填性は良好であった。

### 4.まとめ

今回の試験で得られた主な結果を以下にまとめる。

- (1) Tプレートの厚みや間隔を適切に設定することによってせん断補強筋効果が得られ，Tプレート1枚の有効抵抗範囲は幅2m程度である。
- (2) 鋼板厚4.5～9mm，コンクリート強度30N/mm<sup>2</sup>程度の場合，Tプレートとコンクリートとの有効付着長を250mm程度とし，付着特性を考慮することによってTプレートが受け持つせん断耐力が評価できる。
- (3) 本工法における溝切り，はつり，Tプレート挿入，断面修復，樹脂注入等の一連の流れは，確実に施工が可能であることを確認した。

### 参考文献

- 1) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 下部構造編，1994.2
- 2) 例えば，山村賢輔，清宮理：開削トンネル擁壁部のせん断力に対する鉄筋差込による耐震補強方法，土木学会論文集 No.777，pp.37-51，2004.12
- 3) 土木学会：2007年制定 コンクリート標準示方書 [設計編]，pp.131-141，2007.12