

T型のプレートを用いた壁状部材の新しいせん断補強工法

清水建設株式会社 前田 敏也

1. はじめに

阪神大震災以降の耐震基準の改訂により、既設建造物の柱や梁に対する耐震補強が各所で実施されており、その効果は先の東日本大震災において実証される結果となった。

一方、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土木構造物は、例えば道路橋示方書で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¹⁾、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²⁾。しかし、増し厚工法では内空断面が狭くなることや、鉄筋挿入工法では数十cm間隔で膨大な本数の鉄筋を挿入することなど、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型のプレートを補強材として挿入・接着することによって部材のせん断耐力を向上させる補強工法を開発した。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結果および補強設計手法について述べる。

2. 工法の概要

(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コストが削減できる。また、支障物があって従来工法では補強できない場合等にも有効である。図-2に、高さ5m、延長100m、厚さ50cmの壁を、同等の耐震性能を有するように補強した場合の鉄

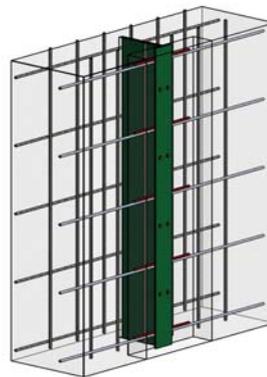


図-1 補強工法の概要

写真-1 Tプレート

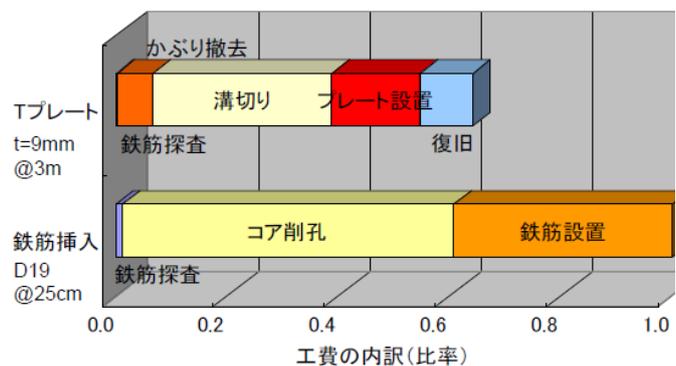


図-2 コスト比較の例

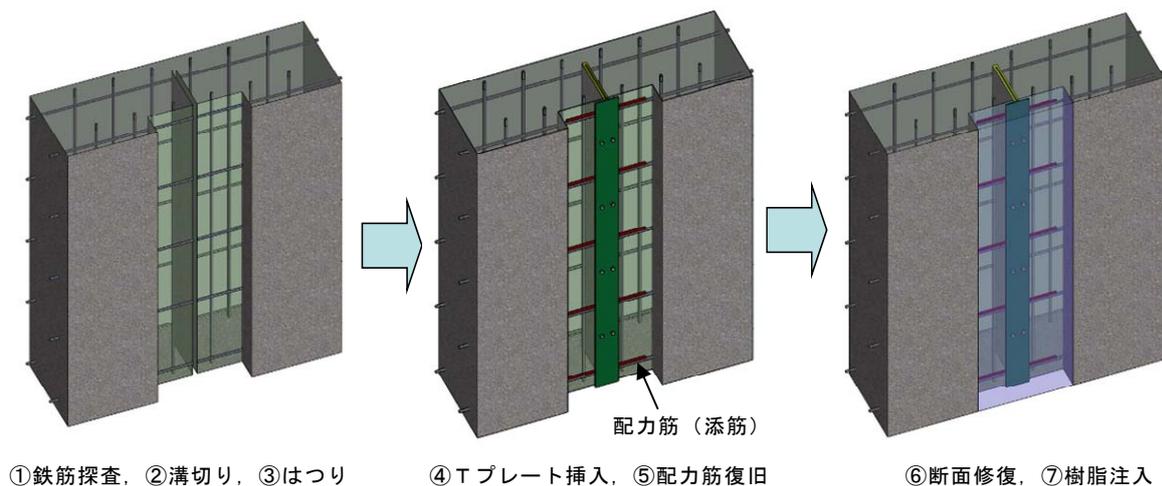


図-3 施工手順

筋挿入工法とのコスト比較の例を示す。なお、工期についても30%程度の短縮が可能であり、構造物の供用停止期間が短縮できるという特長もある。

(2) 施工手順

本工法の施工手順を図-3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プレート挿入後に添筋を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。

④ Tプレート挿入

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プレート固定用アンカーの穴(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プレート挿入後、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。

(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、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〕」³⁾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、T プレートで補強した部材の荷重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。

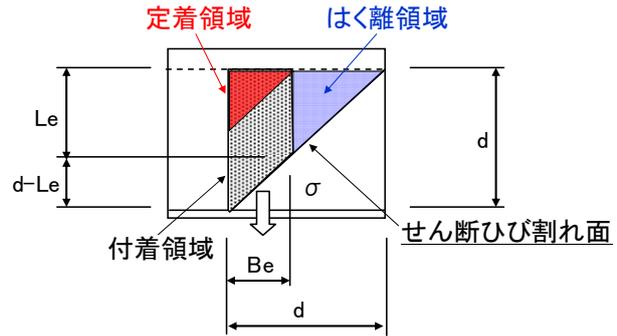


図-4 Tプレートのせん断抵抗機構

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

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

d ：部材の有効高さ

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

γ_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

γ_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は、鋼板の付着試験の結果、コンクリートとの有効付着長を250mmとする⁴⁾。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力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-4にTプレートのせん断抵抗機構を示す。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

(1) 補強した部材の荷重試験

本工法の補強効果を確認するためにスラブの荷重試験を行った。試験体の概要を図-5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

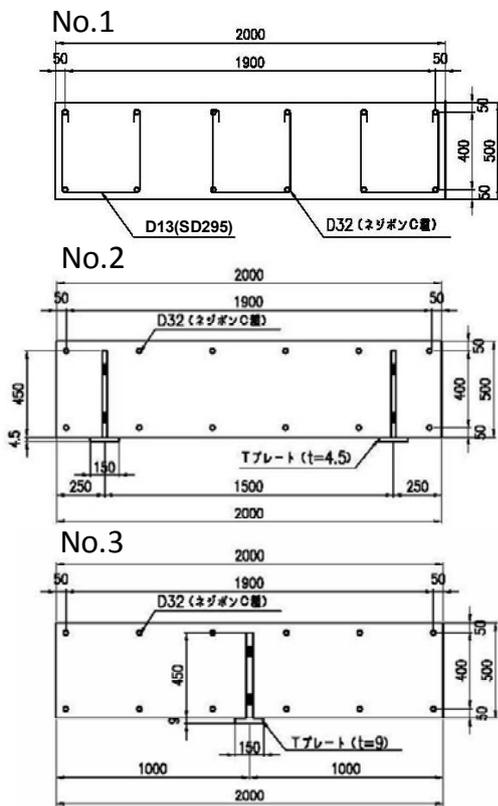
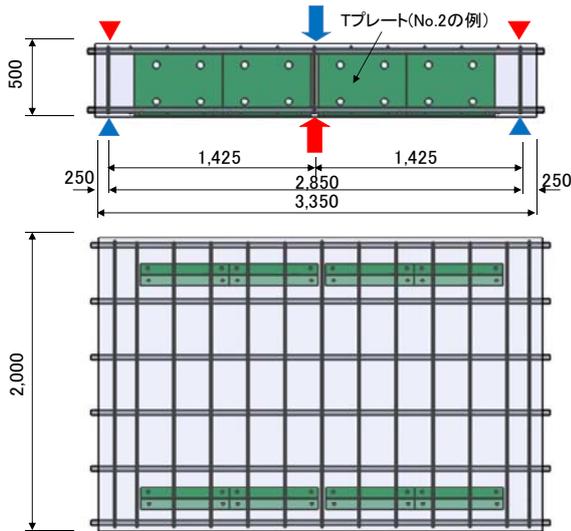


図-5 試験体の概要

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スラブの軸方向に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^2 である。

荷重は、支点間中央の1点集中荷重とし、正方向（図中の青矢印）に最大荷重まで荷重した後、負方向（図中の赤矢印）に最大荷重まで荷重して試験を終了した。

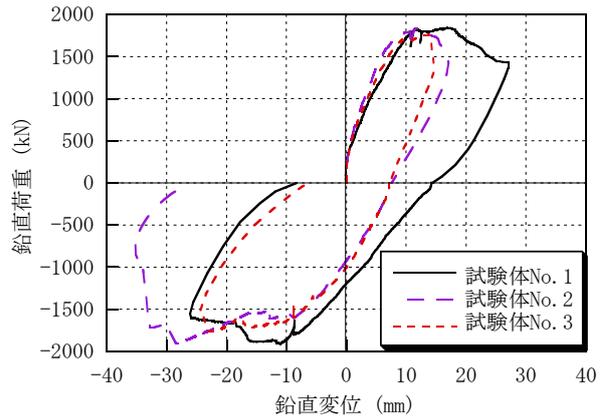


図-6 荷重-変位曲線

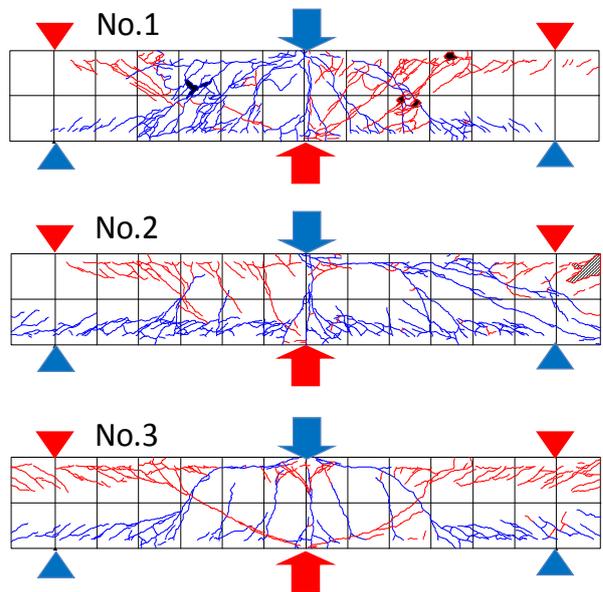


図-7 ひび割れ図

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

各試験体の荷重－変位曲線および試験終了後のひび割れ状況を図－6，

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。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プレートを挿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プレートの厚みと本数、間隔を調整することで、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。

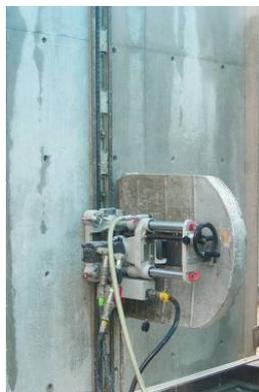
表－2に最大荷重の試験結果と、部材係数を1.0とした場合の計算結果との比較を示す。これらの結果から、No.2，No.3の実験値は計算値に比べて5～15%程度大きいものの安全側の結果となっており、先に示した設計手法によってTプレートが受け持つせん断耐力を評価することが可能であると考えられる。

(2) 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側壁を模擬した、高さ3m、幅3m、厚さ50cmの鉄筋コンクリート試験体を作製し、図－3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、配力筋のかぶりは50mm、コンクリートの圧縮強度は30N/mm²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。



①溝切り



②はつり



③断面修復

写真-2 施工試験状況

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} · f _{ty} · γ _t / 1.15 | | V _{ty} | | | |
| | | A _{tw} (mm ²) | γ _t | | V _t | | |
| | | | | | 正/負 | 正/負 | |
| 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 |

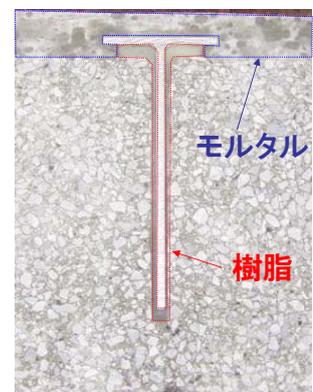


写真-3 樹脂の充填状況

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プレート挿入、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、切断した配力筋の位置をTプレートに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. おわりに

新しく開発したせん断補強工法について、補強効果や設計手法、施工性の確認を行った。本工法は、補強プレートを2~3m間隔で設置するのみで補強ができるため、施工性や工期、工費の面で有利である。今後、開削トンネル等のボックスカルバートや上下水関連の池等の耐震補強への適用が期待される。

【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.777，2004.12，pp.37-51
- 3) 土木学会：2007年制定 コンクリート標準示方書 [設計編]，2007.12，pp.131-141
- 4) 前田敏也，吉武謙二，西村晋一：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．コンクリート工学年次論文集 Vol.33 No.2，2011.7，pp.1081-1086