

土留め壁のH形鋼芯材を用いた合成壁の シアコネクタに関する押抜き試験

Push-out Test of Shear Connectors in the Composite Underground Wall System
using H-shaped Earth Retaining Steel as Structures

吉武謙二*, 前 孝一**, 小川 晃***, 磯田和彦****, 山野辺宏治*****
Kenji Yoshitake, Koichi Mae, Akira Ogawa, Kazuhiko Isoda, Koji Yamanobe

* 清水建設 (株) 技術研究所 (〒135-8530 東京都江東区越中島 3-4-17)
** 清水建設 (株) 土木事業本部 (〒105-8007 東京都港区芝浦 1-2-3)
*** 清水建設 (株) 土木事業本部 (〒105-8007 東京都港区芝浦 1-2-3)
**** 清水建設 (株) 建築事業本部 (〒105-8007 東京都港区芝浦 1-2-3)
***** 清水建設 (株) 技術研究所 (〒135-8530 東京都江東区越中島 3-4-17)

The new system for constructing underground outer wall using H-shaped steel member of retaining wall as structural member has been developed in order to use the underground space effectively, leading to a reduction of thickness in wall. We proposed the waterproof system on the surface of H-shaped steel member and shear reinforcement of RC region by means of headed reinforcing bar as shear connector. Push-out tests were carried out in order to investigate the effects of stud type, stud length, type of waterproof and distance between shear connector and reinforcing bar. Effects of the parameters on the shear response of shear connectors are discussed.

Key Words: Push-out Test, Shear Connector, Shear Strength, Slip Rigidity

キーワード: 押抜き試験, シアコネクタ, せん断耐力, せん断バネ値

1. はじめに

従来、仮設材として用いられてきた土留め壁のH形鋼芯材を、シアコネクタを用いて鉄筋コンクリート壁（以下、RC壁）と合成し、本体構造材として利用する合成地下外壁工法が開発されている^{1)~5)}。H形鋼を構造材として利用することにより、RC壁厚を大幅に削減することができ、地下利用空間の拡大や地下外壁工事の低減、残土排出量の低減が可能となる。

一方、RC壁部の薄壁化に伴い、十分なせん断補強筋を配置しない場合、RC壁部がせん断破壊に至ることが報告されている¹⁾。そこで、良好なコンクリートのせん断補強効果が確認されている端部に拡張部を有する異形鉄筋⁶⁾、Tヘッドバーをスタッド材（Tヘッドバースタッド）として用いることを考案した¹⁾（図-1）。

また、筆者らは合理的な設計法を確立するために、合成壁の構成要素であるH形鋼とRC壁とを個々に評価することが可能な設計手法を提案している^{7), 8)}。この手法では、はり要素によりモデル化したH形鋼とRC壁とを、シアコネクタをモデル化したせん断バネで連結する。よっ

て、合成面におけるせん断特性の把握は適切な設計を実施する上で非常に重要である。

合成面におけるせん断特性を実験的に調べる方法として、シアコネクタの挙動を近似的に再現した押抜き試験がある⁹⁾。

ここでは、本地下合成壁工法を採用することにより想定される以下の場合を対象とした（図-1）。

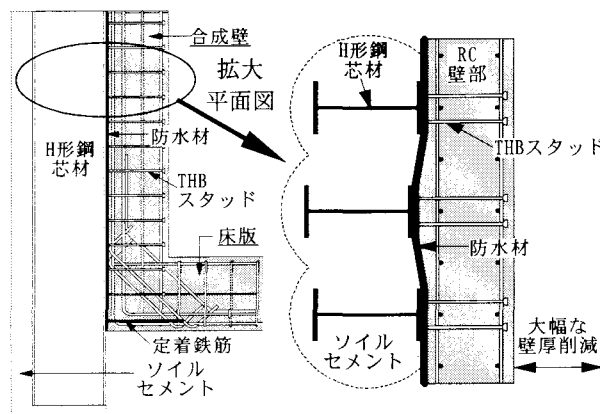


図-1 工法概念図

表－１ 試験体一覧および材料試験結果

NO.	試験体 NO.	シアコネクタ			防水 種類	シアコネクタ と壁筋との距離 (mm)	せん断 補強筋の 有無	シアコネクタ材料特性		コンクリート材料特性	
		種類	径	長さ (mm)				降伏点 (N/mm ²)	引張強度 (N/mm ²)	圧縮強度 (N/mm ²)	弾性係数 (kN/mm ²)
1	S1-1	頭付き スタッド	φ16	120	無し	-70	無し	278.0	474.8	22.8	30.0
2	S1-2				吹き付け 防水						
3	S1-3						有り				
4	S1-4	THB スタッド	D16	120	無し		無し	358.5	481.7	22.2	26.2
5	S1-5							348.9	516.1		
6	S1-6							358.5	481.7		
7	S1-7		D13	270	吹き付け 防水			426.5	578.8	22.8	30.0
8	S1-8							392.3	519.9	22.2	26.2
9	S1-9				無し						
10	S1-10			120				389.7	575.6		
11	S1-11							392.3	519.9		
12	S1-12				吹き付け 防水			351.6	513.6	22.8	30.0
13	S1-13			270							
14	S2-1	頭付き スタッド	φ16	120	無し	-70	無し	341.7	452.8	22.6	25.6
15	S2-2				シート 防水						
16	S2-3					0					
17	S2-4				無し	100					
18	S2-5					200					
19	S3-1	異形鉄筋 (マグ溶接)	D25	250	無し	-	-	374.0	567.4	39.3	32.7
20	S3-2		D38	380		-	-	393.3	603.5		
21	S3-3	異形鉄筋 (カブラー)	D25	300		-	-	374.0	567.4		
22	S3-4		D35	420		-	-	393.8	603.5		

①シアコネクタとして、Tヘッドバースタッド（以下、THBスタッドと称する。）を用いた場合

②地下外壁は高い止水性を要求されることがあり、H形鋼とRC壁部との境界面に種々の防水材を施工した場合

③芯材建て込み時の施工誤差などから見込まれる打ち増し部の影響で、シアコネクタがRC壁の壁筋位置に届かず壁筋により十分拘束されない場合

④合成壁と床版部との隅角部において、定着鉄筋を用いて床版主鉄筋をH形鋼芯材に定着する場合

本報では、これらの場合のH形鋼とRC壁部との合成面におけるせん断強度およびせん断バネ値を把握することを目的として、押抜き試験を実施し考察を加えた。

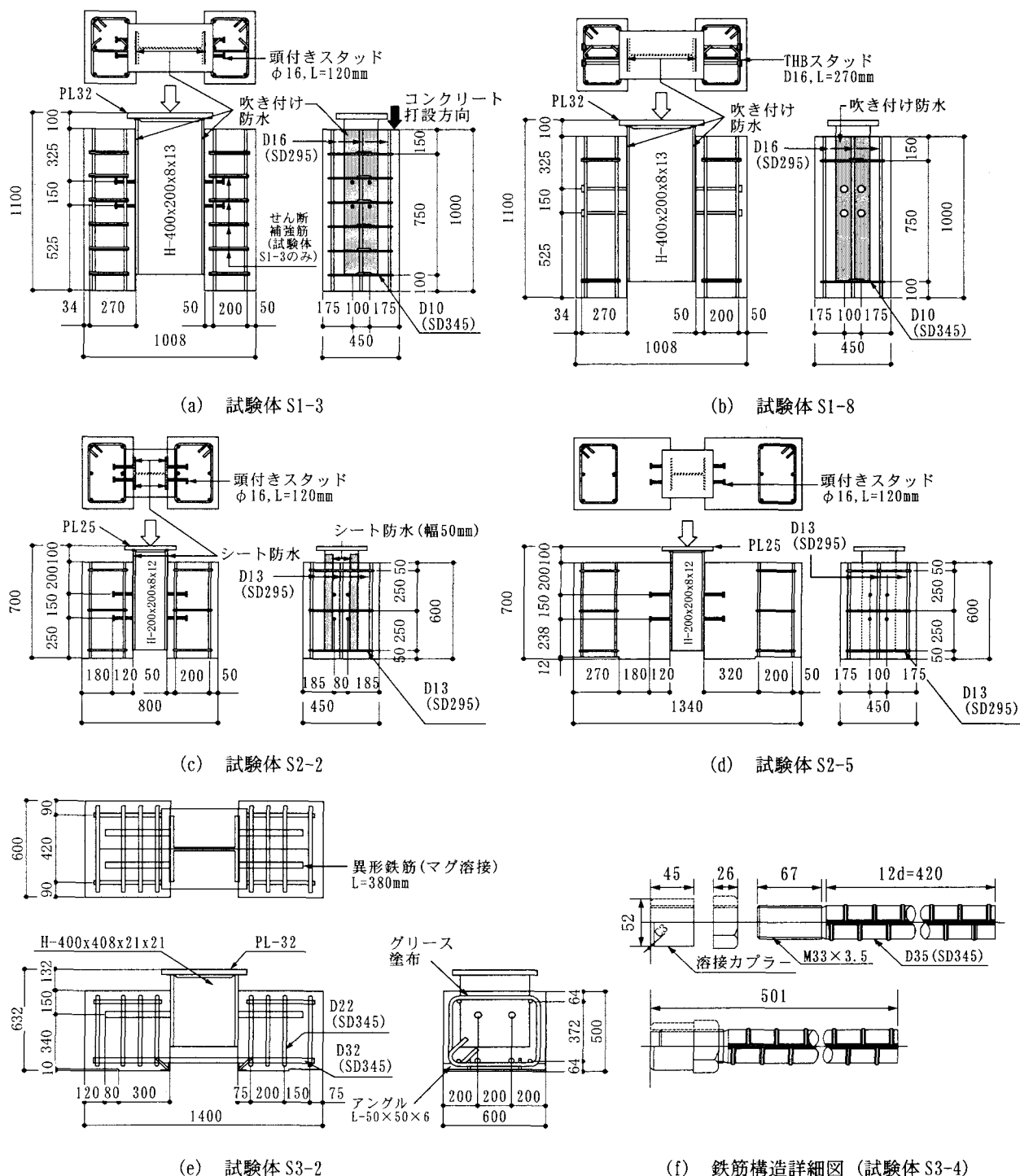


図-2 試験体の形状および寸法

2. 押抜き試験概要

2.1 試験体概要

試験体一覧を表-1に、代表的な試験体の形状および配筋を図-2に示す。S1, S2シリーズでは合成壁一般部のシアコネクタを、S3シリーズでは隅角部の定着鉄筋を対象とした。

S1シリーズでは、頭付きスタッドとTHBスタッドを用い、吹き付け防水のせん断特性に及ぼす影響について検

証した。THBスタッドは頭付きスタッドと同様にスタッド溶接でフランジ面に設置した。なお、THBスタッドの拡張部径は $2.5d \sim 2.8d$ (d は異形鉄筋の公称直径)、拡張部厚さは $0.8d \sim 1.5d$ である。防水材料はゴムアスファルト系のものを使用し、シアコネクタ設置後、シアコネクタを養生してフランジ面全体に吹き付けた。厚さは4mm程度とした。試験体S1-3では、文献4)の曲げ試験体と同等のせん断補強筋を配置した(図-2(a))。THBスタッドの場合は、材質、長さの影響についても調べた。

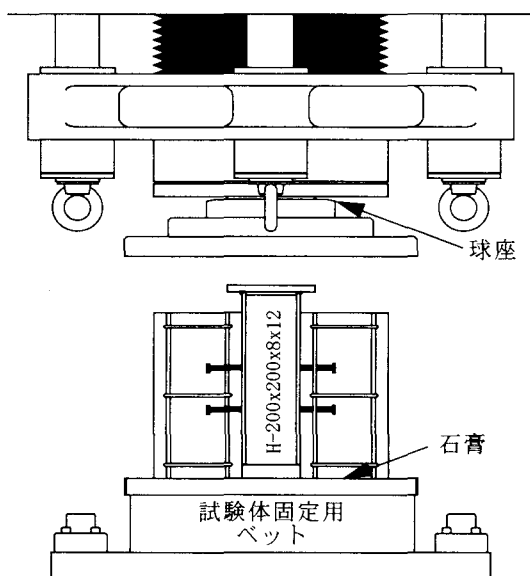


図-3 加力装置図

S2シリーズでは、シアコネクタが壁筋に届かない場合を想定し、スタッドと壁筋との距離をパラメータとした。RC部の主鉄筋比は約0.3%である。試験体S2-2では、頭付きスタッド設置後、幅50mm、厚さ3.2mmの改質アスファルト系の防水シートをフランジ面の両端に貼り付けた。S1,S2シリーズで防水材を施さない場合はフランジ面は未処理とした。

S3シリーズでは、異形鉄筋のH形鋼のフランジ面との接合方法および鉄筋径をパラメータとした。試験体形状は文献10)と文献11)を参考に設定した。

試験体S3-1, 2では、鉄筋をマグ溶接によりフランジに接合し、鉄筋長さは10dとした。また、試験体S3-3, 4では、図-2(f)に示すようにフランジ面に溶接したカプラーに端部をネジ加工した異形鉄筋をねじ込み、ナットを締め付けて固定した。鉄筋長さは12Dとした。

S2,S3シリーズでは、スタッド付近の応力状態が類似するようにコンクリートブロックと試験機のベットの設置幅を300mmに統一した。コンクリートは全てのシリーズにおいてシアコネクタ軸が水平方向を向いている状態で、コンクリートが下方から充填されるよう打設した(図-2(a))。シアコネクタおよびコンクリートの材料試験結果は表-1に記載している。

2.2 載荷および計測方法

載荷装置図を図-3に示す。試験体ベットとコンクリート部との底面に石膏を敷き不陸を調整した。また、H形鋼のフランジに直接軸力が作用するようにウェブ上端に切り欠きをいれ、S1シリーズではテフロン支承を介して、S2, 3シリーズでは球座を介して載荷を実施した。荷重は単調載荷とし、最大荷重後も十分荷重が低下するまで実施した。上側のシアコネクタ位置でのRC壁部とH形鋼の相対ずれや、シアコネクタのひずみなどを計測した。

3. 試験結果

3.1 セン断挙動と破壊状況

試験結果一覧を表-2に、シアコネクタのせん断応力と平均相対ずれ関係を図-4に示す。表内の降伏強度は、せん断強度の1/3での割線剛性を0.2mmオフセットして求めた値である。また、せん断パネ値は、式(1)に示す文献12)などで一般的に広く用いられているFisher式の低減係数 α を0.6, 0.4とした短期および長期せん断応力時における割線剛性である。

$$\tau_s = \alpha \{0.5 \cdot (f'_c \cdot E_c)^{0.5}\} \quad (1)$$

ここで、 f'_c はコンクリートの圧縮強度、 E_c はコンクリートの弾性係数、 α は低減係数である。

また、ひび割れの発生した試験体の試験終了時におけるひび割れ発生状況を図-5に、代表的な試験体の試験終了時の状況を写真-1に示す。

S1シリーズでは、全ての試験体でシアコネクタの破断により最大耐力に至った。その後、シアコネクタが破断をするごとに荷重が低下し、試験終了後には全てのシアコネクタが破断した。試験体S1-1, S1-5は、最大荷重後にひび割れが発生した。

代表的なせん断応力と頭付きスタッドのひずみの関係を試験体S2-5を例として図-6に、スタッドの変形概念図を図-7に示す。ひずみはフランジ面から、上下20mm間隔で計測したものである。全ての位置においてスタッドひずみが、下側引張、上側圧縮から、下側圧縮、上側引張に反転している。せん断応力-ずれ関係は、この遷移点付近まではほぼ線形で、遷移点以降で剛性が低下している。これは、弾性変形していたシアコネクタ基部のコンクリートがスタッドの変形に伴い塑性化し、スタッドの変形が基部に集中したためであると考えられる。

S2シリーズでは、S2-4のみがコンクリートの支圧破壊により、その他の試験体はシアコネクタの破断により最大耐力に至った。但し、試験体S2-3, S2-4, S2-5では、最大荷重後にひび割れが発生し、コンクリートが割裂した。(写真1(b))。コンクリートが割裂した試験体は、スタッド破断のものと比較して最大荷重以降の荷重低下が緩やかであった。なお、スタッドの破断本数は、試験体S2-1, S2-2で8本、試験体S2-3で5本、試験体S2-4で0本、試験体S2-5で3本であった。S1,S2シリーズのスタッドの破断位置はいずれも溶接余盛り部と軸部との境界部であった(写真-2)。

S3シリーズでは、試験体S3-1, S3-2では異形鉄筋基部の母材破断により、試験体S3-3, S3-4ではネジ部先端、もしくは、ナットとカプラーの境界でシアコネクタが破断し最大耐力に至った(写真-1(c))。

表-2 試験結果一覧

No.	試験体 NO.	せん断 強度 τ_{max} (N/mm ²)	せん断 耐力時 相対ずれ (mm)	降伏 せん断 強度 τ_y (N/mm ²)	降伏時 相対ずれ (mm)	Fisher値 τ_s (N/mm ²)	せん断 強度比 τ_{max}/τ_s	短期許容 応力時 せん断 バネ値 (kN/mm)	長期許容 応力時 せん断 バネ値 (kN/mm)	短期 バネ値比 ^{*1}	長期 バネ値比 ^{*1}	破壊 パターン
1	S1-1	567.5	14.3	236.4	0.9	412.8	1.37	49.7	72.4	0.94	1.37	シアコネクタ 破断
2	S1-2	388.8	18.6	156.4	1.2	412.8	0.94	8.3	23.8	0.16	0.45	
3	S1-3	399.3	18.5	156.4	1.2	412.8	0.97	8.5	22.0	0.16	0.42	
4	S1-4	487.7	7.9	205.9	0.8	380.8	1.28	43.4	67.9	0.83	1.30	
5	S1-5	542.1	9.6	245.7	1.6	380.8	1.42	32.9	34.7	0.63	0.66	
6	S1-6	388.8	13.1	158.0	1.0	380.8	1.02	17.0	34.0	0.33	0.65	
7	S1-7	348.3	10.2	166.0	1.3	412.8	0.84	13.2	24.6	0.25	0.47	
8	S1-8	320.6	11.8	158.0	1.2	412.8	0.78	9.8	24.6	0.19	0.47	
9	S1-9	641.0	10.2	269.7	1.0	380.8	1.68	62.2	80.4	1.87	2.41	
10	S1-10	605.2	9.3	255.3	1.0	380.8	1.59	62.2	82.6	1.87	2.48	
11	S1-11	435.9	13.9	172.3	0.9	380.8	1.14	24.0	45.6	0.72	1.37	
12	S1-12	320.2	8.6	150.0	1.0	412.8	0.78	8.6	17.5	0.26	0.53	
13	S1-13	326.0	11.1	151.6	1.1	412.8	0.79	6.8	15.0	0.20	0.45	
14	S2-1	451.8	12.0	250.5	1.2	380.8	1.19	46.0	46.3	0.87	0.87	シアコネクタ 破断
15	S2-2	480.0	16.3	196.3	1.2	380.8	1.26	28.8	42.4	0.54	0.80	
16	S2-3	453.5	12.8	239.4	1.4	380.8	1.19	38.3	41.3	0.72	0.78	
17	S2-4	404.4	9.8	248.9	1.4	380.8	1.06	43.0	44.9	0.81	0.85	コンクリート 支圧破壊
18	S2-5	427.5	10.6	248.9	1.5	380.8	1.12	37.1	38.2	0.70	0.72	シアコネクタ 破断
19	S3-1	798.9	17.1	374.0	2.1	567.2	1.41	-	119.9	-	0.92	シアコネクタ 破断
20	S3-2	642.1	23.7	270.9	1.8	567.2	1.13		214.2		0.72	
21	S3-3	899.9	16.7	383.8	1.4	567.2	1.59		228.0		1.77	
22	S3-4	860.1	17.1	457.3	1.7	567.2	1.52		394.9		1.56	

*1)は文献1)のせん断バネ値との比

3.2 各種パラメータのせん断挙動に及ぼす影響

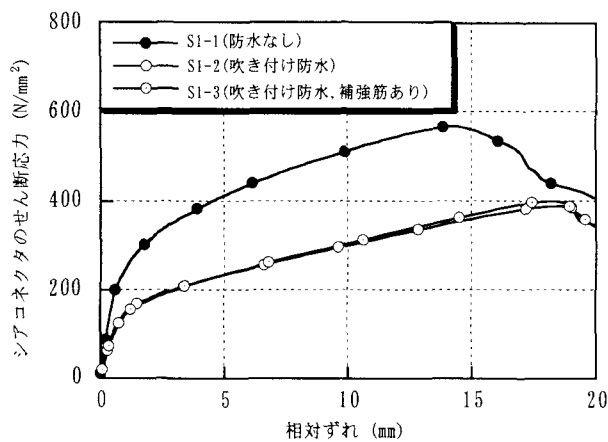
3.2.1 シアコネクタ種類の影響

頭付きスタッドおよびTHBスタッドを用いた場合のせん断強度と、式(1)との関係を図-8に示す。但し、式(1)の α は1.0として算定した

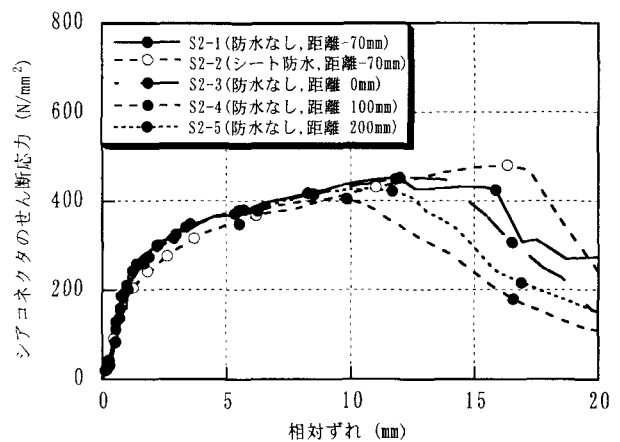
THBスタッドのせん断強度は頭付きスタッドと同様に、Fisher式を上回っており、十分なせん断強度を有するこ

とが確認できた。

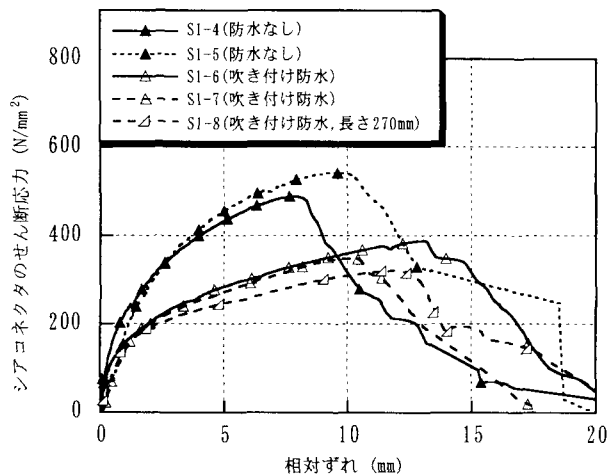
S1シリーズにおいて、頭付きスタッドの最大荷重時の相対ずれは、THBスタッドと比較して大きくなった。試験終了時の代表的なシアコネクタの断面マクロ写真を、試験体S1-3、S1-7を例として写真-2に示す。スタッド基部において頭付きスタッドの方がTHBスタッドと比較して大きくせん断変形した後に破断している様子が伺える。



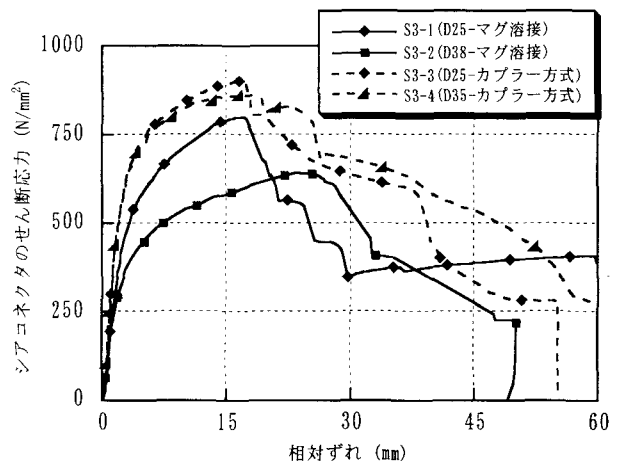
(a) 試験体 S1-1 ~ S1-3 (頭付きスタッド)



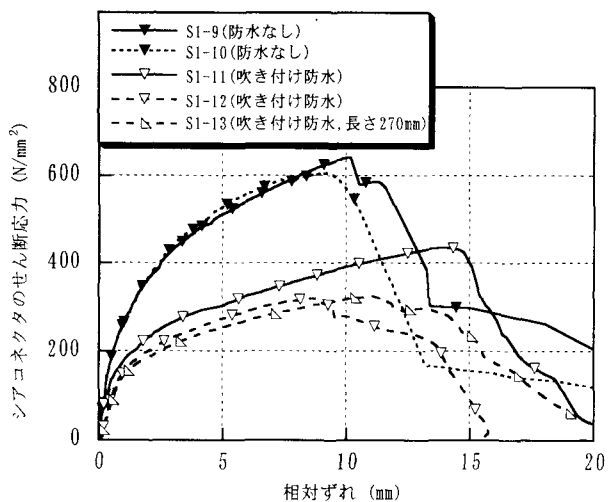
(d) 試験体 S2-1 ~ S2-6 (頭付きスタッド)



(b) 試験体 S1-4 ~ S1-8 (THB スタッド D16)



(e) 試験体 S3-1 ~ S3-4 (异形鉄筋)



(c) 試験体 S1-9 ~ S1-13 (THB スタッド D13)

図-4 セン断応力-相対ずれ関係

よって、両者の材質や節の有無が相対ずれ量の差異の一因であると考えられる。

長さの異なる THB スタッドを用いた場合の、スタッド長さとせん断強度比の関係を図-9 に示す。せん断強度比とは、実験で得られたせん断強度を Fisher 式で正規化したものである。スタッドの長さと軸径の比 L/d は、スタッドの破断で最大耐力に至ったため、せん断強度に影響を及ぼさなかった。

また、試験体 S1-2 と S1-3 を比較すると、せん断補強筋の有無により最大荷重までのせん断挙動に大きな差異は見られなかった。

短期および長期許容せん断応力における割線剛性より求めたせん断バネ値と、文献 1) に示されたせん断バネ値 ($\phi 13: 35.0 \text{ kN/mm}$, $\phi 16: 53.0 \text{ kN/mm}$) との比を図-10, 11 に示す。文献 1) のせん断バネ値は、 $\phi 22$ の頭付きスタッドの押抜き試験結果を用いて、短期許容せん断応力時の割線剛性で算定し、 $\phi 22$ 以外の径では $\phi 22$ のせん断

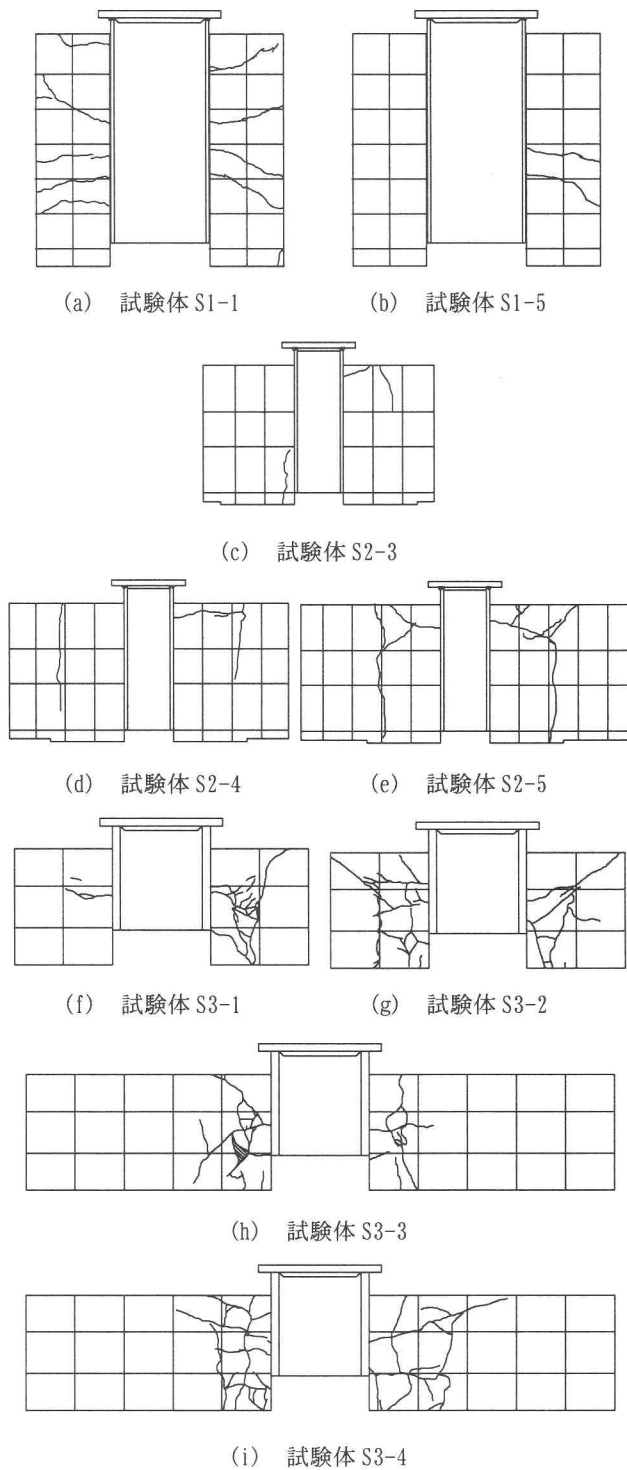
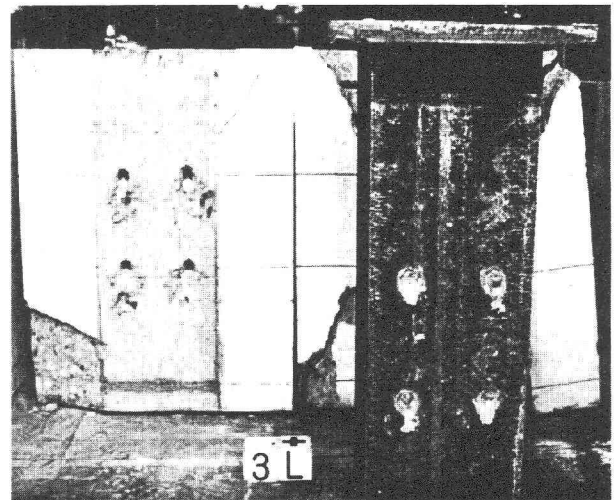


図-5 ひび割れ発生状況（試験終了時）

バネ値を基に断面積比で線形に算定している。また、試験条件は、テフロンシートを用いてH形鋼とRC壁部の境界面の付着および摩擦の影響を除去していること、PC鋼棒を用いて横方向の変位を拘束しているなど今回と異なる点がある。

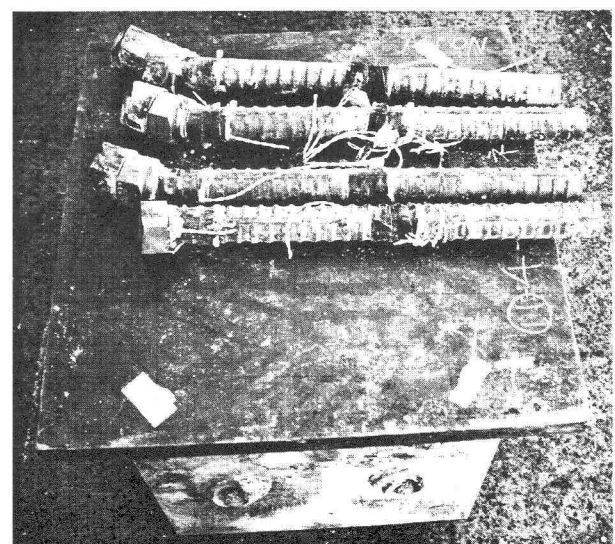
今回の試験条件では、短期許容せん断応力時のせん断バネ値は、トンネル協会の提案値¹⁾より若干小さくなった。



(a) 試験体 S2-3



(b) 試験体 S2-5



(c) 試験体 S3-4

写真-1 試験体破壊状況

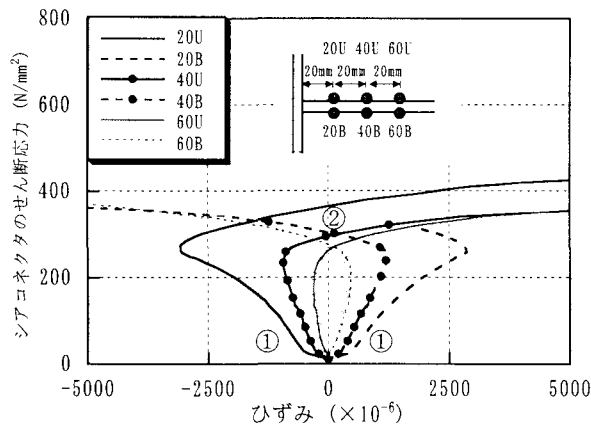


図-6 スタッドのひずみ応答 (試験体 S2-5)

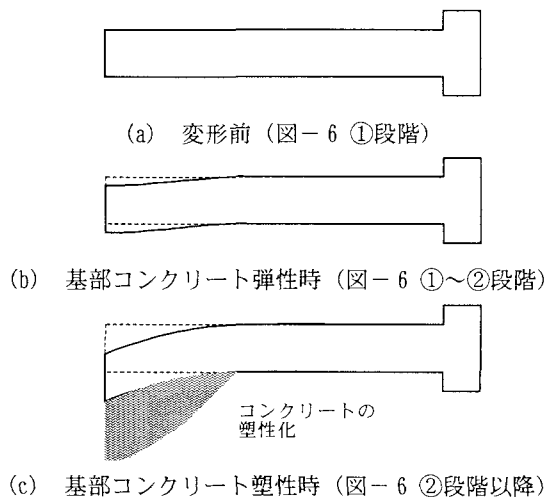


図-7 スタッドの変形概念図

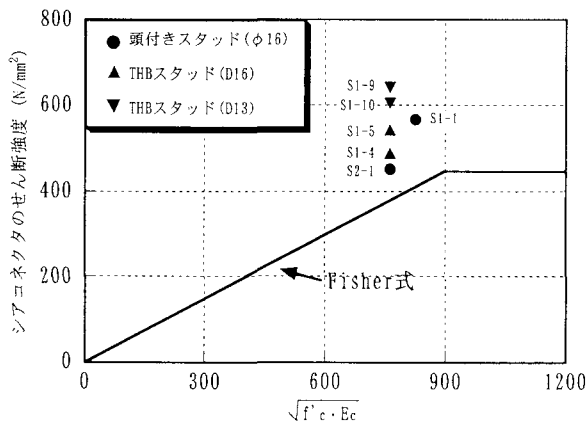


図-8 シアコネクタ種類のせん断強度に及ぼす影響

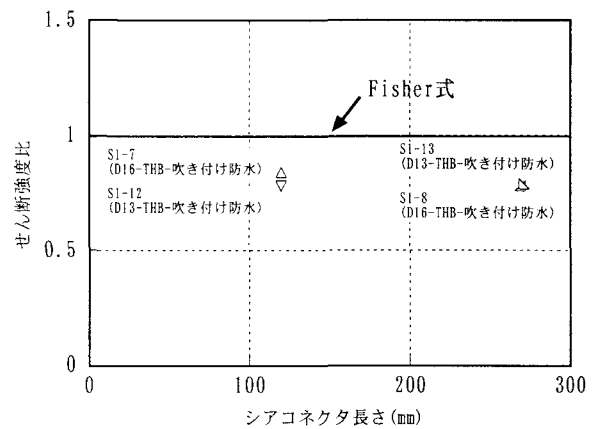


図-9 シアコネクタ長さのせん断強度に及ぼす影響

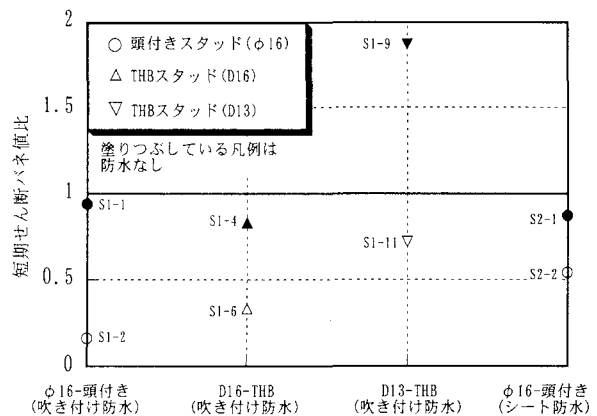


図-10 短期せん断バネ値

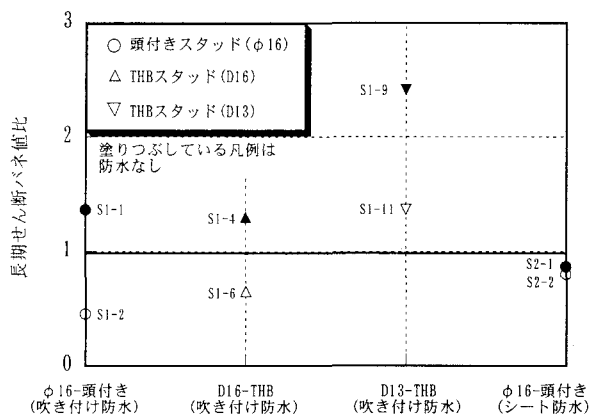


図-11 長期せん断バネ値

3.2.2 防水材の影響

吹き付け防水およびシート防水を用いた場合のせん断強度比を図-12に示す。吹き付け防水を用いた際は、シアコネクタ種類にかかわらずせん断強度が約30%低下することが明らかになった。一方、シート防水を用いた場合は、せん断強度が若干向上した。これは、主としてせん断力を負担するスタッド基部の下側に防水材がないことと防水材の粘着性が影響したと考えられる。

短期許容せん断応力時のせん断バネ値は、吹き付け防水を施した試験体ではトンネル協会の値の約20%程度であった。また、試験体 S1-1 と S1-2 を比較すると吹き付け防水を施すことにより、短期および長期許容せん断応力におけるせん断バネ値がそれぞれ約17%, 32%に低下した。以上より、シアコネクタ基部の条件が、せん断特性に大きく影響することが明らかになった。

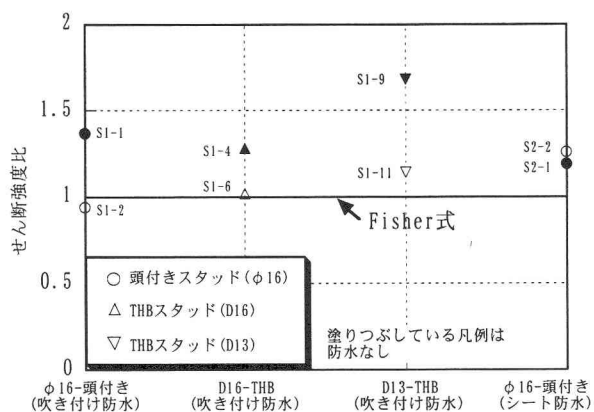


図-1 2 防水材のせん断強度に及ぼす影響

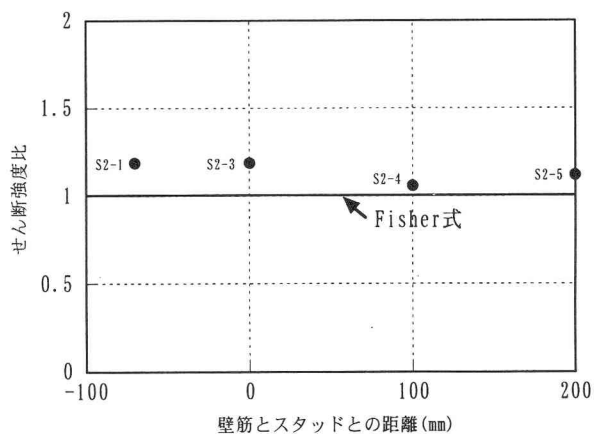
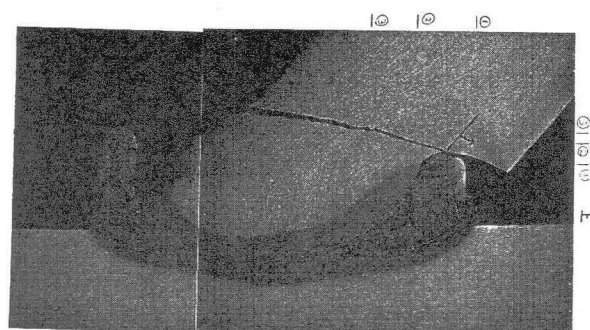
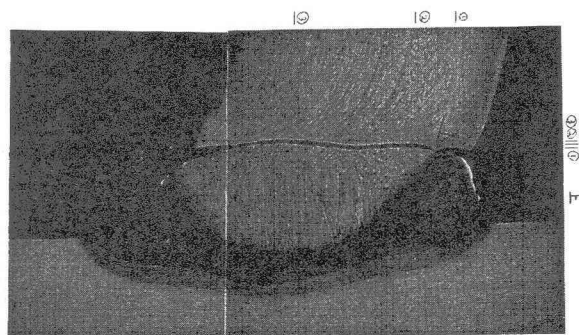


図-1 3 壁筋の拘束がせん断強度に及ぼす影響



(a) 試験体 S1-3 (頭付きスタッド)



(b) 試験体 S1-7 (THB スタッド)

写真-2 スタッド基部断面マクロ写真

3.2.3 スタッドと壁筋との距離の影響

スタッドと壁筋の距離とせん断強度比の関係を図-1 3に示す。スタッドと壁筋との距離により、破壊状況は異なったが、せん断強度にほとんど差異はなく、いずれの場合も、Fisher式を上回った。また、せん断パネ値も大きな差異は見られなかった。

3.2.4 鉄筋径および鉄筋接合方法の影響

S3シリーズのせん断強度とせん断パネ値の関係を、図-1 4, 1 5にそれぞれ示す。図中には既往の太径鉄筋に関する押抜き試験結果¹⁰⁾と文献13)の式(2)の方法も

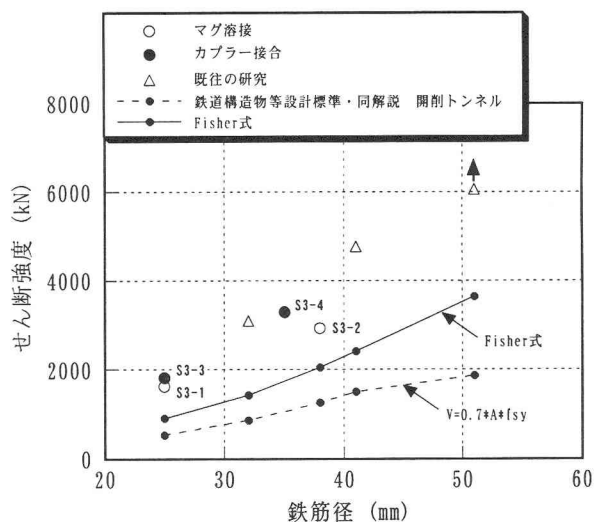


図-1 4 せん断強度

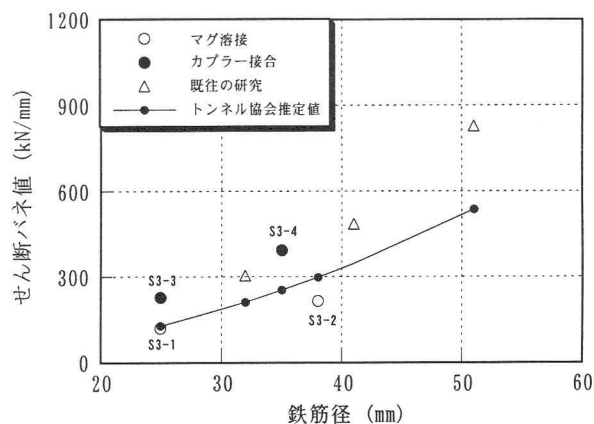


図-1 5 せん断パネ値

示している。

$$V=0.7 \times A_s \times f_{sy} \quad (2)$$

ここで、 A_s はシアコネクタの断面積、 f_{sy} はシアコネクタの降伏強度である。いずれの試験体もせん断強度はFisher式および式(2)を満足しており、定着長はマグ溶接

で10D、カプラー方式で12Dで十分であることが確認できた。

図-15内のトンネル協会推定値はトンネル協会の提案しているφ22の頭付きスタッドのせん断バネ値¹⁾(φ22:100kN/mm)に異形鉄筋の断面積比を乗ずることにより算定できると仮定した式(3)を用いて算定したものである。

$$k_{st} = 100 \times (\phi / 22)^2 \quad (3)$$

ここで、φはシアコネクタの径である。せん断バネ値は、マグ溶接により接合した試験体S3-1、S3-2では、トンネル協会推定を若干下回ったが、カプラー接合方式を用いた場合はトンネル協会式を大きく上回った。これはせん断強度と同様に、主としてせん断力を負担するシアコネクタ基部に太径のカプラーを用いているためであると考えられる。

4. 結論

土留め壁のH形鋼芯材を本体利用する合成地下外壁工法を用いる際に想定されるシアコネクタに関する問題を抽出し、解決するために押抜き試験を実施した。その結果得られた知見を以下に示す。

- ① THBスタッドを用いた場合も頭付きスタッドを用いた場合と同様に、Fisher式を満足し、十分なせん断強度を有することが確認できた。
- ② 吹き付け防水を用いた際は、シアコネクタ種類にかかわらずせん断強度が約30%、短期許容せん断応力時のせん断バネ値はトンネル協会の値の約20%に低下することが明らかになった。一方、シート防水を用いた場合は、せん断強度が若干向上した。
- ③ スタッドと壁筋との距離により破壊状況は異なったが、せん断強度にほとんど差異はなく、いずれの場合もFisher式を上回った。
- ④ 太径鉄筋に関しては、いずれの接合法を用いた場合も試験体もせん断強度はFisher式を満足した。せん断バネ値は、マグ溶接により接合した場合はトンネル協会推定値を若干下回ったが、カプラー接合方式の場合は大きく上回った。
- ⑤ シアコネクタは、基部に変形が集中し破断に至るため、防水材やカプラーなどのシアコネクタ基部の条件が、せん断特性に大きく影響することが明らかになった。

合成壁と床版部との隅角部に関する試験⁹⁾の結果、床版部の定着鉄筋にはせん断力とともに引き抜き力が作用することが確認された。現在、引き抜き力とせん断力が同時に作用する場合の異形鉄筋のせん断特性について試験を実施中である。この試験結果については別の機会に報告する予定である。

参考文献

- 1) (社)日本トンネル技術協会：H形鋼を芯材とする土留め壁本体利用の設計手引き，2002。
- 2) 山尾憲一郎，村田義行，海老澤弘道，金子 治，上嶋忠孝，阪井真人：ソイルセメント柱列壁芯材の有効利用に関する研究（その3）曲げせん断実験（2）施工性を考慮した性状，日本建築学会大会学術講演概要集（中国），pp. 611-612, 1999。
- 3) 長澤保紀，前孝一，吉武謙二，大崎雄作：土留め壁のH形鋼芯材を用いた合成壁の直接せん断特性，土木学会第58回年次学術講演会講演概要集，pp. 475～476，2003。
- 4) 吉武謙二，小川晃，大崎雄作，藤江康司：土留め壁のH形鋼芯材を用いた合成壁の曲げ特性，土木学会第58回年次学術講演会講演概要集，pp. 483～484，2003。
- 5) 吉武謙二，前孝一，小川晃，大崎雄作：土留め壁のH形鋼芯材を用いた合成壁と床版との隅角部に関する実験，土木学会第59回年次学術講演会講演概要集，pp. 673～674，2004。
- 6) 塩屋俊幸，中澤春生，長澤保紀，高岸正章：Tヘッドバー工法の開発，コンクリート工学年次論文集，Vol. 22, No. 3, pp. 1291～1296, 2000。
- 7) 小川晃，前孝一，吉武謙二，河野泰直：土留め壁のH形鋼芯材を用いた合成壁の構造解析方法，土木学会第58回年次学術講演会講演概要集，pp. 481～482，2003。
- 8) 田中八重，小川晃，吉武謙二，前孝一：土留め壁の芯材を本体利用した隅角部を有する合成壁の構造解析方法，土木学会第59回年次学術講演会講演概要集，pp. 675～676，2004。
- 9) (社)日本鋼構造協会：頭付きスタッドの押抜き試験方法（案）とスタッドに関する研究の現状，1996。
- 10) 森健太郎，角田浩，高梨智之，井上啓明，吉武謙二，田尾一憲：鋼材とRCとの複合構造物の太径鉄筋を用いた結合部の直接せん断実験，土木学会第59回年次学術講演会講演概要集，pp. 679～680，2004。
- 11) 鋼製地中連続壁協会：鋼製地中連続壁設計施工指針（案），1997。
- 12) 日本建築学会：各種合成構造設計指針同解説，1985。
- 13) 鉄道総合技術研究所：鉄道構造物等設計標準・同解説 開削トンネル，2001。

(2004年9月17日受付)