

戸田式合成地下壁工法 (TO-SCW) の開発 (その2 シアコネクタ工法の改良による合理化の検討)



金子 治^{*1}

千葉 脩^{*1} 中村 良雄^{*2}
吉原 長吉^{*3} 海老澤 弘道^{*4}

概 要

ソイルセメント柱列壁芯鉄骨を鉄筋コンクリート造地下外壁と構造的に一体として本設構造物に用いる工法・戸田式地下合成壁(TO-SCW)工法について、地下構造物としての構造特性、施工方法に配慮した合理化を進めるため、シアコネクタ量の最小必要量低減の可能性、および施工合理化が可能な新しいシアコネクタ工法の適用性に関する構造実験を実施し、以下の点を確認した。

- ・合成度0.25以上が確保されていれば、施工誤差や仮設時の先行応力、界面付着の喪失の影響があったとしても、地下壁として要求される構造性能を満足することができる。
- ・セパレータ取り付け金物と兼用可能なタップ付きスタッドおよび形鋼コネクタ、さらに施工精度が確保できない場合に有効な異形鉄筋スタッドをシアコネクタとして用いた場合、タップなし頭付きスタッドとほぼ同等の構造性能を確保しており、既往の設計手法が適用可能であることを確認した。また、形鋼コネクタの合成度は頭付きスタッドに準じた方法で評価可能であり、合成度が同じであれば構造性能も同等であった。

ここから、本工法ではシアコネクタ量の最小必要量を0.25まで低減し、あわせてタップ付きスタッド、異形鉄筋スタッドおよび形鋼コネクタを適用可能なシアコネクタ工法に追加することとした。

DEVELOPMENT OF TODA STEEL AND REINFORCED CONCRETE COMPOSITE WALL (TO-SCW) PART2 IMPROVEMENT OF CONNECTOR SYSTEM

Osamu CHIBA^{*1} Yoshio NAKAMURA^{*2}
Chokichi YOSHIHARA^{*3} Hiromichi EBISAWA^{*4}
Osamu KANEKO^{*1}

The composite underground wall system(TO-SCW) that unitized reinforced concrete wall with H-shaped steels embedded in soil cement walls had been developed. The authors tried to improve this system through reduction of the minimum required amount of stud bolts and employment new shear connector. The results of structural experiments and conclusion were following.

- (1)The results of bending-shear tests to the specimens in those stud bolts placed less than 0.5 in composite ratio, shown that these kept good performance as the composite walls and there were little effects by residual stress in the H-shaped steels, bond between steel surfaces and concrete walls and distance from stud bolts to reinforced bars.
- (2)The results of direct shear tests using alternative shear connectors(stud with tapping hole, reinforced bar stud and L-shaped steel attached by high tension bolts or welding) shown that the composite wall unitized by new connectors had equivalent performance to by stud bolts and the past design code was applicable.

*1 技術研究所, *2 本社建築工事技術部, *3 機材部, *4 構造設計部

*1 Technical Research Inst., *2 Architechtural Engineering Dept., *3 Material and Equipment Dept., *4 Structural Engineering Dept.

戸田式合成地下壁工法 (TO-SCW) の開発 (その2 シアコネクタ工法の改良による合理化の検討)

千葉 脩*1 中村 良雄*2
吉原 長吉*3 海老澤弘道*4
金子 治*1

1. はじめに

これまでに、ソイルセメント柱列壁芯鉄骨とRC造地下外壁をシアコネクタを介して構造的に一体化することにより、仮設の山留め壁としてのみ利用していた芯鉄骨を本設構造物として有効利用する工法(戸田式合成地下壁工法:TO-SCW工法)の開発を進めてきた。前報¹⁾では各種の構造実験および実施工した柱列壁の掘出し調査を行い、本工法を用いた合成壁構造の本設構造物としての性能およびその耐久性を確認した。さらにこれらの結果を受けて、本工法の設計・施工指針を作成し、実用化に至った。本報では、地下構造物としての要求性能、施工方法に配慮した合理化を進めるため、構造実験によりシアコネクタ量の最小必要量低減の可能性、および新しいシアコネクタ工法の適用性について検討した結果を報告する。

2. スタッドボルト最小必要量の低減

2.1 検討目的

本工法の設計手法は基本的に日本建築学会「各種合成構造設計指針・同解説(1985)」²⁾に準拠している。同指針では塑性変形性能確保の観点から適用範囲を合成度0.5以上と規定している(p.74)が、主に長期荷重に対して設計される地下構造物である合成壁については、使用される応力レベルにおいて強度が確保されていれば目標性能は達成できると考えられる。しかしながら、0.5を下回る合

成度の曲げせん断性能について確認した実験例は少ないことから、合成度0.5未満の試験体に対する曲げせん断実験により構造性能を確認し、本工法におけるスタッドボルト最小必要量を0.5以下とすることの可能性について検討することとした。

2.2 実験概要

試験体は表2-1に示す6体で、パラメータは合成度、施工誤差(スタッドと鉄筋の離隔距離)、鉄骨-コンクリートの界面の付着、先行応力である。試験体は図2-1に示すように実大スケールで、芯鉄骨はH-400×200×8×13@450、スタッドは16、長さ120mmである。スタッド打設にあたっては、合成度が低くスタッド量が少ないことから、実施工を模擬してすべて端部集中配置とした。RC部の標準の厚さは300mmで、鉄骨側の鉄筋は深さ58mmに配置しスタッド頭部を拘束しているが、施工誤差の影響を検討するNo.A-4では厚さ400mm、鉄筋位置は158mmとスタッド頭部と接する程度、No.A-5では同じ厚さ、鉄筋位置でスタッド長さ180mmとして鉄筋とラップさせている。コンクリートの設計基準強度は24N/mm²である。各材料の試験結果を表2-2に示す。

加力は中央1点集中荷重による鉄骨が引張り側となる方向の一方向単調載荷で、荷重および壁筋、鉄骨、スタッドの各ひずみ、鉛直たわみおよび鉄骨とコンクリートの界面ずれ変位について計測を行っている。

表2-1 低合成度試験体一覧

試験体 No.	合成度	スタッド本数	スタッド長さ	壁筋位置	先行応力	界面付着
A-1	0.25	14	120mm	58mm	なし	あり
A-2	0.15	8				なし
A-3	0.25	14	200	158		なし
A-4				120	58	あり
A-5						
A-6						

表2-2 低合成度試験材料試験結果

材料種類	鋼材				コンクリート				
	鉄筋	H鋼	スタッド		試験体 No.A-	設計基準強度	圧縮強度	ヤング率	材齢
規格	SD345	SS400	120mm	180mm					
降伏強度	376	275	279	259	1,2,3	24	30.3	22900	33日
引張強度	555	468	483	469	4,5,6		31.8	24800	38日

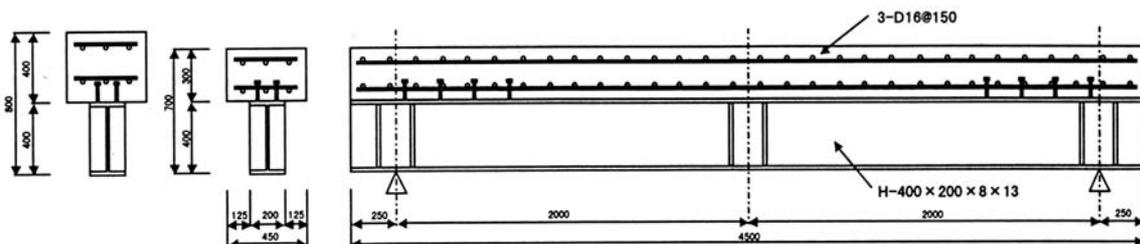


図2-1 低合成度曲げせん断試験の試験体

*1 技術研究所, *2 本社建築工事技術部, *3 機材部, *4 構造設計部

2.3 実験結果

(1) 最大耐力および破壊モード

表2-3に実験結果の一覧を設計荷重の計算結果とあわせて示す。表中に示した合成度は材料試験結果から算出した値で、「設計荷重」とは縁応力度が許容応力度に達する荷重、「終局荷重」は式(2-1)より算出した値(Pu)をそれぞれ示している。

$$Pu = sP + (np/nf)^{0.5} \cdot (cP - sP) \quad \dots \text{式(2-1)}$$

sP : 鉄骨部終局耐力

cP : 完全合成ばりの終局耐力²⁾

(np/nf) : 合成度

ここで実験の最大耐力はすべての試験体で式(2-1)による終局耐力を計算値を上回っていることを確認した。

破壊状況はすべて同じで、長期設計荷重を超えた後に加力点直下(中央下端)に曲げひび割れが発生し、その後鉛直たわみの増大とともに、界面ずれを伴いながら曲げひび割れが曲げせん断ひび割れに移行しながら端部に向かって進展した後、最終的に加力点直下のコンクリートが圧潰した。最終破壊状況の代表例を図2-2に示す。ただし、界面付着のないA-3では、初期ひび割れの発生、その後のひび割れの進展ともにやや早くなる傾向が見られた。

(2) 初期剛性

図2-3に実験結果から得られた初期剛性: Iuと合成度の関係を示す。あわせて、図中には式(2-2)で $\alpha = 0.5$ として求めた値を実線で示した。

$$Iu = sI + (np/nf) \cdot (cI - sI) \quad \dots \text{式(2-2)}$$

sI : 鉄骨部断面2次モーメント

cI : 完全合成ばりの断面2次モーメント

ここで、界面付着のないA-3の実験結果はやや低いものの、すべて式(2-2)で $\alpha = 0.5$ とした値を上回っており、合成度が0.5以下の場合もこの式で初期剛性が評価できることがわかった。

(3) 低合成度での荷重 - たわみ関係

図2-4にA-1(合成度0.25)、A-2(0.15)の荷重 - たわみ関係を、前年度実施した合成度0.5の試験体の荷重 - たわみ関係¹⁾と合わせて示す。初期剛性はほぼ同じで、長期設計荷重まで合成度による差はほとんど見られないが、合成度0.15(A-2)では短期設計荷重に至る直前から剛性は大きく低下しはじめていた。一方、合成度0.25(A-1)では短期設計荷重を超えるまで剛性を維持しており、地下壁としての性能は確保できていると考えられる。

(4) 芯鉄骨 - コンクリート間の付着の影響

本工法で構築した合成壁を長期間使用を続けた場合、乾燥収縮や地震荷重を受けることにより、芯鉄骨とコンクリート界面の付着が失われる可能性があると考えられることから、この場合の構造性能確認のため、フランジ面にテフロンシート(厚さ0.3mm)を接着して界面を絶縁した試験体を作成した。図2-5に界面を絶縁したA-3試験体の荷重 - たわみ関係をA-1とあわせて示す。

ここで、A-3は(1)で述べたように曲げひび割れの発生・界面ずれの発生が早期に生じることから、A-1に比べると初期剛性はやや低いが、式(2-2)で $\alpha = 0.5$ としたときの計算値は上回っている。また、ひずみ分布測定結果では長期設計荷重段階剛性はやや低いが、式(2-2)で $\alpha = 0.5$ とした

ときの計算値は上回っている。また、ひずみ分布測定結果では長期設計荷重段階からRC部下端に引張りひずみが生じており(長期荷重時約900 μ , 長期許容ひずみ1051 μ) , 重ね壁に近い状態となっているが、短期設計荷重においても降伏には至っておらず(約1500 μ) , 地下壁として要求される性能は確保できているものと考えられる。

表2-3 試験結果一覧(単位: kN, kN/mm²)

試験体 No.	合成度	実験値		設計荷重			実験 終局
		初期剛性	最大値	長期	短期	終局	
A-1	0.26	101	820	266	399	628	1.31
A-2	0.15	121	709	248	372	561	1.26
A-3	0.26	88	890	266	399	628	1.42
A-4	0.27	172	903	307	461	754	1.20
A-5	0.28	163	911	307	461	761	1.20
A-6	0.26	119	847	266	399	633	1.34

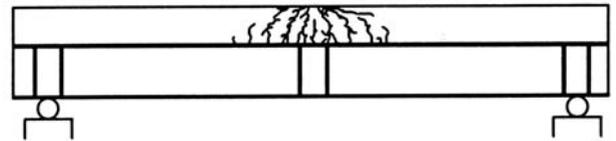


図2-2 最終破壊状況例

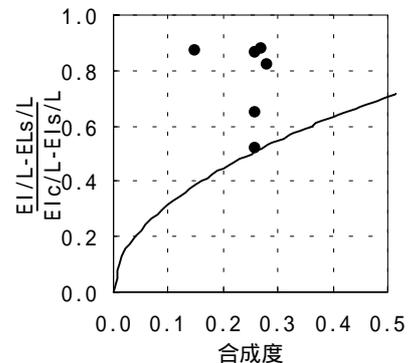


図2-3 初期剛性と合成度の関係

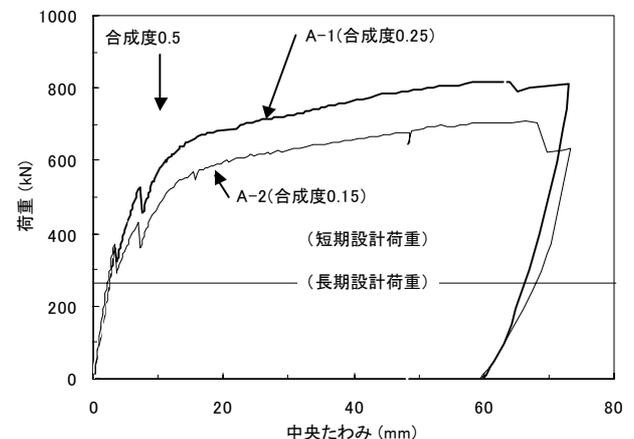


図2-4 荷重 - たわみ関係の比較(合成度の影響)

(5) 先行応力の影響

前報¹⁾において、合成壁は仮設時に山留め壁としての先行応力を受けているが、合成度0.5以上では先行荷重が長期許容応力度レベルであれば、ほとんど影響がないことを確認している。そこで、低合成度においてもその影響を確認するため、芯鉄骨の引張り側縁応力度が長期許容応力度程度(160N/mm²)となるよう、PC鋼棒によりあらかじめ鉄骨曲げ応力を加えた状態でコンクリートを打設した試験体を製作した。(図2-6)

図2-7に先行応力を加えたA-6試験体の荷重 - たわみ関係をA-1とあわせて示す。ここで、先行荷重を加えたA-6では長期荷重後の剛性低下がやや大きかったものの、最大応力はほぼ同じであった。このとき、A-6の鉄骨のひずみは先行応力時570 μ に対し、長期設計荷重時でも1000 μ と弾性範囲であるが、短期設計荷重に至る前の340kNで降伏に達したのに対し、A-1では短期設計荷重を超えた600kNで降伏しており、この差が剛性低下の差になって現れたと考えられる。

本実験条件のように仮設時先行応力と本設時の最大応力発生点が一致することはほとんど考えられないが、実験結果では低合成度において長期荷重後の剛性低下に先行応力の影響が見られたため、低合成度の合成壁を用いる場合は、最大応力発生位置が重ならないよう配慮することが望ましい。

(6) 施工精度の影響

(5)と同様に前報¹⁾では、合成度0.5以上でスタッド頭部と壁主筋が接する程度の離れであれば、施工誤差があっても構造性能は確保されることを確認している。

これを低合成度でも確認するため、施工誤差100mmとして、スタッド頭部と壁主筋が接する程度とした試験体(A-4)と、長尺スタッド(180mm)を用いてスタッド頭部が壁主筋に完全に拘束されるように配置した試験体(A-5)を作成し、比較検討を行った。

図2-8に荷重 - たわみ関係の比較を示す。ここで両者はほぼ一致しており、合成度0.25でもスタッド頭部と壁鉄筋が接する程度の離れであれば、施工誤差があっても構造性能は確保されることが確認された。

(7) まとめ

- ・合成度0.15でも初期剛性は、長期設計荷重までの構造性能は確保されているが、短期期設計荷重に至る前に剛性低下が生じる。これに対し、合成度0.25であれば短期設計荷重を超えるまで構造性能が確保できる。
- ・芯鉄骨と付着が失われた場合でも、若干の剛性低下はあるものの必要な性能は確保できている。
- ・合成度0.25でも先行応力の影響、施工誤差の影響は合成度0.5以上と同じと考えられる。ただし、0.5を下回る低合成度の場合は、仮設時と本設時の最大応力発生点が一致しないよう留意する必要がある。

以上から、本工法ではスタッド最小必要量を0.25に引き下げることができると判断した。

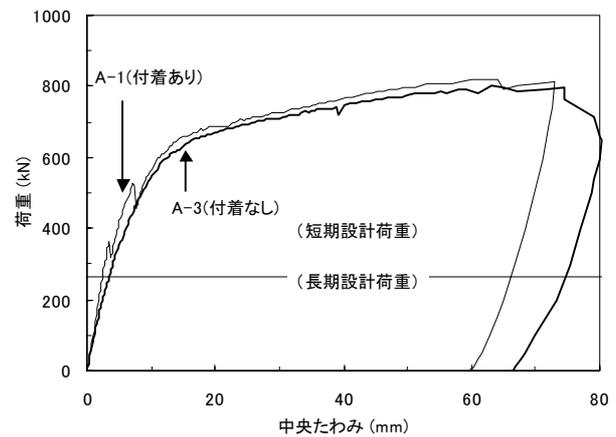


図2-5 荷重 - たわみ関係の比較(付着の影響)

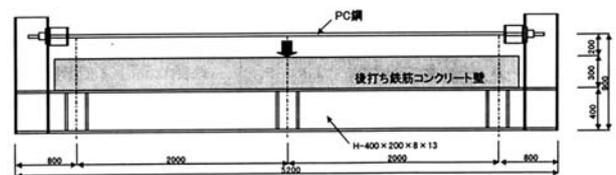


図2-6 先行応力導入試験体

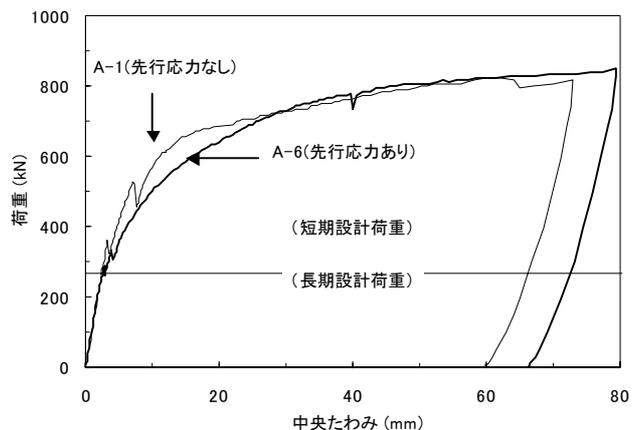


図2-7 荷重 - たわみ関係の比較(先行応力の影響)

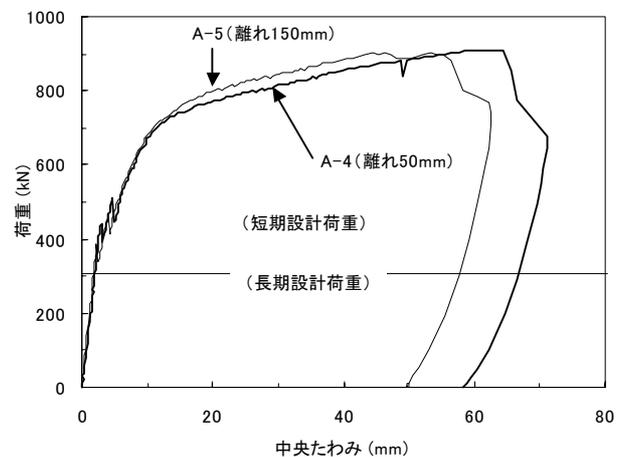


図2-8 荷重 - たわみ関係の比較(施工誤差の影響)

3.新しいシアコネクタ方式の適用性

3.1 新シアコネクタ方式の概要

地下外壁の施工にあたっては柱列壁の内面側を外型枠に用いるため、芯鉄骨にセパレータ用の治具が取り付けられるが、これらを応力伝達な構造としてシアコネクタと兼用できれば、施工の合理化はかれる。一般に、セパレータの取り付け方としては、ねじ穴付きの金物を使う方法と形鋼に溶接する式がある。本報では先端にねじ穴(タップ)を切ったスタッドを用いる方式とL形鋼を用いる方式の本設構造物としての適用性を検討することとした。以下にその概要を示す。

タップ付スタッド

スタッド頭部に雌ねじ(タップ)を切ったタイプで、頭付きと頭なしの2種類がある(写真3-1)。取り付け方法は頭付きスタッドと同じ施工機械を用いる。

形鋼コネクタ

セパレータを置くためのL形鋼を芯鉄骨に取り付ける方式(図3-1)であり、仮設用としては現場溶接で取り付けることが多いが、本工法においては本設構造としての施工管理を考え、ボルト接合タイプと溶接接合タイプの2方式を採用することとした。



写真3-1 タップ付きスタッド(左:頭付き,右:頭なし)

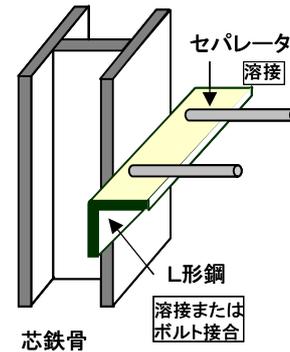


図3-1 形鋼コネクタの概要

一方、芯鉄骨は地中に構築されるため施工誤差が避けられないものの2.(6)においてスタッド頭部が壁主筋と接する程度であれば構造性能は確保できることを確認しているが、それ以上の誤差が部分的に生じた場合にはさらに長尺の異形鉄筋スタッドを使うことが考えられ、その適用性の検討も合わせて行うこととした。(以下、タップ付きスタッドと異形鉄筋スタッドをあわせて「特殊スタッド」という。)

以上のシアコネクタ方式について直接せん断実験および曲げせん断実験により耐力を確認するとともに、既提案の設計手法¹⁾の適用性を検討する。

表3-1 試験体一覧(特殊スタッド直接せん断試験)

試験体 No.	スタッド種類	径 (mm)	長さ (mm)	本数	壁筋位置	σ_B (N/mm ²)
T-1	タップ付き頭付き	16	120	4x2	120	35.1
PT-1	タップ付き頭なし			2x2		
	タップ付き頭付き			2x2		
P-1	タップ付き頭なし			2x2		
P-2	異形鉄筋			6x2		
R-1	異形鉄筋	300	4x2	220	29.0	
S-1	タップなし頭付き	120	4x2	120		

表3-2 材料試験結果

材料種類	鋼材					コンクリート			
	鉄筋	H鋼	スタッド		設計基準強度	圧縮強度	ヤング率	材齢	
規格	SD345	SS400	頭付き	頭なし	異形鉄筋				
降伏強度	376	275	273	298	352	24	35.1	25900	31日
引張強度	555	468	453	442	522	*頭なし、異形鉄筋スタッドは相当品			

3.2 特殊スタッドに関する実験

(1)実験概要

表3-1に試験体一覧、表3-2に使用材料の試験結果を示す。試験体は図3-2に示す芯材(H鋼)の両側にRCブロックを配置した押抜きタイプで、実験パラメータはスタッド種類(タップ・頭の有無、異形鉄筋)および本数である。実験に用いたタップ付きスタッドは径16、長さ120mm、タップ径9.5mm(3/8inch)で、頭付きタイプ(T)はJIS規格品(SS400相当)に深さ34mmのタップを切ったもので、頭なしタイプ(P)も同材質、タップ深さは55mmである。芯材はH-244×175×7×11(SS400)、RC部の厚さは300mm、T、PタイプのRC部芯材側の壁筋は深さ118mmに配置し、スタッド頭部を拘束するようにしている。異形鉄筋スタッド(R)はD16、長さ300mm、SD345相当品をとり、RC部は施工誤差+100mmを想定して壁筋位置を深さ220mm、壁厚400mmとした。

なお、S-1は昨年度実施したタップなし頭付きスタッドの実験¹⁾を比較のために示したものである。

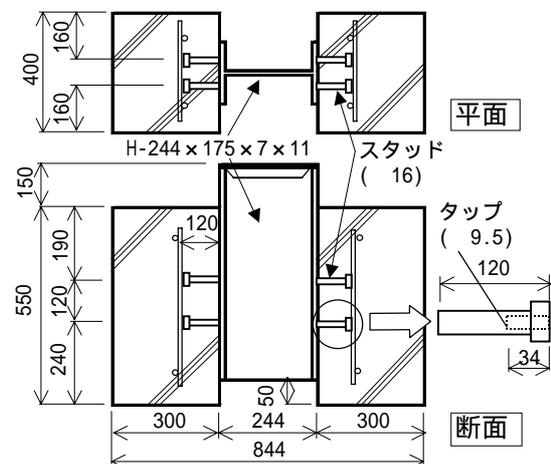


図3-2 直接せん断試験体

加力は一方単調荷重で、芯材とRC部の相対ずれ量およびスタッド、壁筋のひずみを測定している。

(2)実験結果

表3-3に試験結果の一覧を示す。破壊過程としては、スタッドが2×2本のP-1ではコンクリート部分にほとんどひびわれが発生しないままスタッドが破断したが、その他はスタッドに沿ったひびわれが生じた後、荷重増大にともなって上部に向かって伸びて行き、最終的にコンクリートが支圧破壊した。ただし、異形鉄筋スタッドを用いたR-1ではスタッド破断が先行した。

スタッド本数が同じで種類が異なるT-1, PT-1, S-1およびR-1の荷重 - 相対ずれ量関係の比較を図3-3に、頭なしスタッド付きスタッドが2×2本のP-1, 6×2本のP-2とスタッドなし頭付きスタッドが4×2本のS-1との比較を図3-4に示す。なおS-1はコンクリート強度(σ_B), ヤング率(E_c)の影響の補正のため $E_c \cdot \sigma_B$ の比を乗じた値で示した。図3-3,4によればT,PTタイプの荷重 - 相対ずれ関係は最大耐力までスタッドなし頭付きスタッド(S)とほとんど一致しており、かつ実験結果の最大耐力と表3-2に示した「各種成構造設計指針」²⁾に基づく設計式(3-1)によるせん断耐力計算値がほぼ一致していることから、スタッドの有無はせん断耐力に影響しないことが確認された。

$$q_s = 0.5 \cdot a_s \cdot E_c \cdot \sigma_B \quad \dots \text{式(3-1)}$$

それに対し、異形鉄筋スタッド(R-1)のせん断耐力はやや高く、頭なしスタッドのみ(P-1, P-2)はやや低くなる傾向がみられた。さらに、スタッドの長さ(L)と径(d)の比の影響を考慮するために提案したせん断耐力評価式¹⁾:式(3-2)との比較を図3-5に示すが、計算値は実験値に近くものの上記の傾向は変わらない。

$$q_s = 0.136 \cdot (L/d)^{0.804} \cdot a_s \cdot E_c \cdot \sigma_B \quad \dots \text{式(3-2)}$$

また、ひずみ測定結果によればすべてのスタッドで根元に近い位置(16mm)では、初期に生じた曲げが最大荷重に近づくにつれ引張りに移行するのに対し、根元から80mm離れたと曲げ変形が卓越しており、スタッド種類、長さによる発生応力の差は確認できなかった。

(3)まとめ

以上より、スタッドなし頭付きスタッドに対する実験結果に基づいて決定した設計法¹⁾をこれらの特殊スタッドにも適用する場合、スタッド付きは全く問題はなく、異形鉄筋スタッドについても安全側の評価であると判断される。一方、頭なしスタッドのみを用いた場合には危険側となる可能性があるが、試験体PT-1のように混在率50%であればせん断耐力は頭付きのみの場合と同等となるが、実際の施工にあたっては頭なしスタッド付きを配置するのはセパレータ位置のみで良く、頭なしの混在率を50%以下と規定してもスタッド付きの施工面での有効性は変わらない。

以上よりこれらの特殊スタッドを適用可能なシアコネクタ工法として本工法に追加することとした。

表3-3 試験結果一覧(単位: kN, kN/mm²)

試験体 No.	q _s (kN)	δ _s (mm)	a _s (mm ²)	q _s /a _s (N/mm ²)	√E _c σ _B (kN/mm ²)	q _s /a _s / 0.5√E _c σ _B	破壊形式
T-1	701	6.6	1608	435	882	0.99	支圧破壊
PT-1	695	7.8	1608	434		0.98	支圧破壊
P-1	302	4.8	804	375		0.83	ホルト破断
P-2	867	5.0	2412	359		0.81	支圧破壊
R-1	795	8.6	1592	499		1.13	ホルト破断
S-1	591	6.7	1608	368	822	0.95	支圧破壊

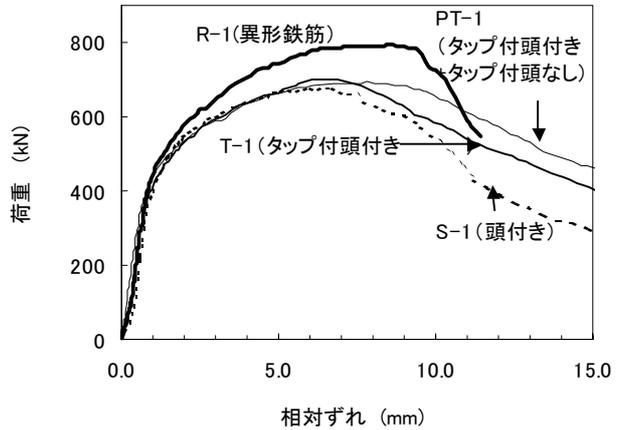


図3-3 荷重 - 相対ずれ関係の比較(スタッド種類)

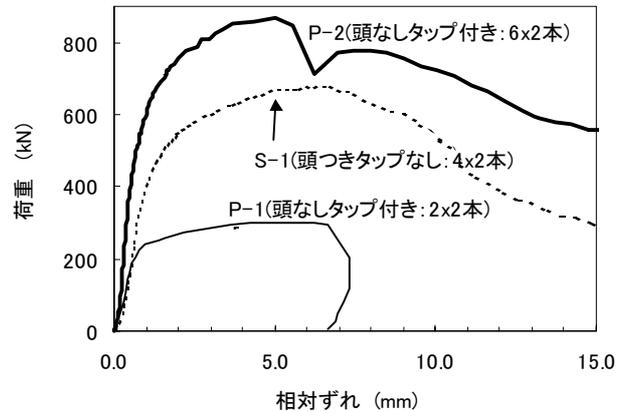


図3-4 荷重 - 相対ずれ関係の比較(スタッド数)

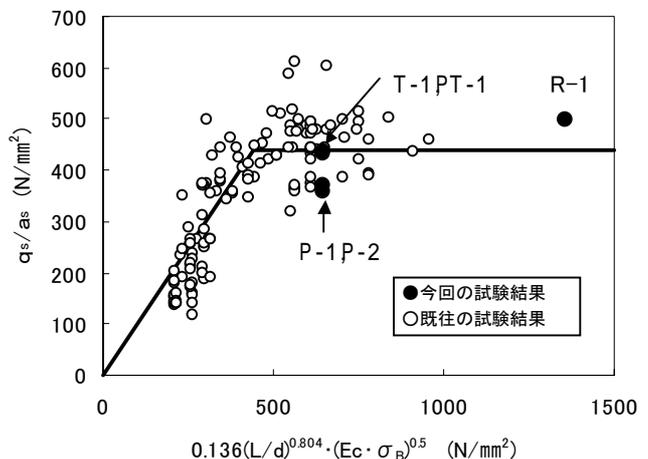


図3-5 試験結果とせん断耐力評価式との比較

3.3 形鋼コネクタに関する実験

(1) 実験概要

直接せん断実験の試験体一覧を表3-4に示す。実験パラメータは、接合方法(溶接, ボルト), 溶接長・シアコネクタ量, 向き, ボルトの種類および施工誤差(シアコネクタと鉄筋の離隔距離)である。試験体形状, 試験方法は3.2(1)と同様であるが, コネクタ(等辺山形鋼:L-75×75×9)の1箇所あたりの耐力がスタッドよりも大きいため, 3.2(1)より大きな寸法としており, 芯材はH-400×200×8×13, RC部の壁厚350mm(施工誤差の影響を考慮するNo.LS-4は450mm)とした。ここで, シアコネクタの接合に高力ボルトを用いたのはボルト軸部のせん断耐力確保を目的としたもので, 高力ボルト接合とはしていない。ナットは実施工でソイルセメント内に埋設されることを考慮して袋状の閉鎖型のものを用いている。

曲げせん断実験の試験体一覧を表3-5に示す。パラメータは合成度であるが, ここでの合成度はスタッドと同じ式により, ボルトあるいはL形鋼のせん断耐力をスタッドのせん断耐力と読み替えて算出した値である。シアコネクタピッチ400mm(No.LM-1)で合成度0.3, 800mm(No.LM-2)で0.15に相当する。試験体形状, 実験方法は2.(1)で示したものと同一である。

材料試験は両試験共通で, 結果を表3-6に示す。

(2) 直接せん断実験結果

直接せん断実験の試験結果の一覧を表3-7に示すが, 最大耐力については, 溶接接合では溶接長による差が見られたが, いずれも同じシアコネクタ数でボルト接合の試験体よりは大きかった。一方, ボルト接合ではシアコネクタ数にほぼ比例した耐力となっており, 施工誤差(壁筋との距離)の影響を含めても試験体間の違いはほとんどなかった。破壊モードはいずれもシアコネクタ接合部の破断または曲げ降伏で, RC部はひび割れもほとんど生じていなかった。

荷重-相対ずれ関係を図3-6(溶接長さおよび接合方法の影響), 7(施工誤差およびボルト種類の影響), 8(シアコネクタ数の影響)に示す。図3-6によれば接合方法によって傾向が異なっており, 溶接接合では初期に高い剛性を示し, その後(おそらく鉄骨-コンクリート間の付着が切れることにより)やや低下するものの, 最大耐力に近い荷重まで高い剛性を維持していた。これに対しボルト接合では, シアコネクタ1組では200N, 2組では400N付近まで高い剛性を維持しているものの, その後急激に剛性が低下し, 溶接接合に比べ大きなずれ量で最大耐力に至る。これはボルト接合の場合, 初期剛性はL形鋼と鉄骨の摩擦が, その後の剛性低下はボルト穴のクリアランスの影響が大きいと思われるが, 定量的なデータ取得には至っていない。また, 図3-7, 8によれば, せん断耐力はシアコネクタ数, ボルト耐力にほぼ比例し, シアコネクタ向き, 施工誤差(形鋼と壁鉄筋の離れ)にはほとんど影響されないことがわかる。

表3-7にシアコネクタの耐力として, 接合部耐力は溶接部あるいはボルトのせん断耐力から, 支圧耐力は土木学会提案式³⁾により求めた結果を示す。実験値は中ボルト以外はすべて計算値をも上回っており, これらの式はこ

表3-4 試験体一覧(形鋼コネクタ直接せん断試験)

試験体 No.	シアコネクタ		コネクタ 組数	取付け 方向	離隔 距離	
	接合方法	長さ・径				
LS-1	溶接	270mm	1	上向き	50mm	
LS-2		160mm				
LS-3	高力ボルト (F10T)	M16		1	下向き	150mm
LS-4					上向き	
LS-5						
LS-6	中ボルト	2		2	上向き	50mm
LS-7	高力ボルト					

表3-5 試験体一覧(形鋼コネクタ曲げせん断試験)

試験体	シアコネクタ	ピッチ	合成度
LM-1	L-75×75×9	400	0.3
LM-2	長さ180	800	0.15

表3-6 材料試験結果

材料種類	鋼材				コンクリート*				
	鉄筋	H鋼	高力ボルト	中ボルト	試験体 No.LS-	F _c	圧縮強度	ヤング率	材齢
規格	SD345	SS400	F10T	4T	2.5	24	35.7	22900	31日
降伏強度	376	275	1012	474	1,3,4,6		35.7	24800	33日
引張強度	555	468	1052	484	7		37.5	24400	38日

*LM-1(σ_B=31.8, E=24800), LM-2(32.9, 26100)はNo.Aシリーズと合わせて実施。

表3-7 直接せん断試験結果一覧(単位: kN, kN/mm²)

試験体 No.	計算値		実験値	実験値/計算値		破壊 部位
	接合部	支圧		接合部	支圧	
LS-1	786	439	860	1.09	1.96	鋼材
LS-2	457	440	638	1.37	1.45	溶接部
LS-3	382	440	461	1.21	1.05	ボルト
			451	1.18	1.03	ボルト
			466	1.22	1.06	ボルト
LS-4	382	440	453	1.18	1.03	ボルト
LS-5	382	440	448	1.17	1.02	ボルト
LS-6	175	440	225	1.29	0.51	ボルト
LS-7	764	901	910	1.19	1.00	ボルト
			928	1.19	1.01	ボルト
			906	1.22	1.03	ボルト

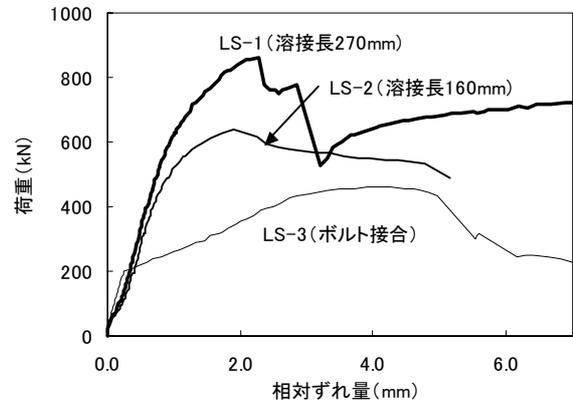


図3-6 荷重-相対ずれ関係の比較(接合方法)

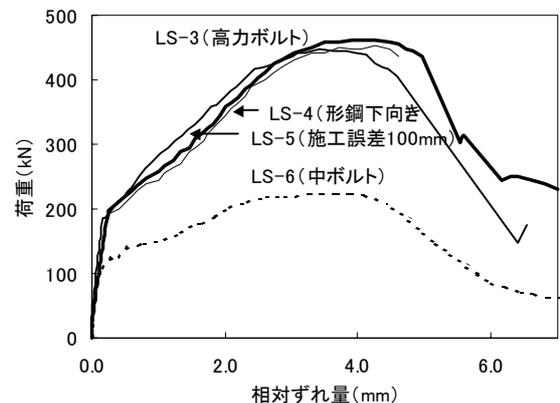


図3-7 荷重-相対ずれ関係の比較(施工誤差, 向き)

のタイプのシアコネクタの評価としては安全側となっていることがわかる。

(3) 曲げせん断実験結果

表3-8に曲げせん断実験の試験結果を前年度実施した合成度0.34のスタッドを配置した試験体の結果¹⁾と合わせて示す。表中には、式(2-1)により算出した終局耐力:Puを示すが、実験値と良い対応を示している。

破壊に至るまでのひび割れ発生状況は2.(2)とほぼ同じであるが、最終破壊モードは、LM-1はRC部のせん断破壊、LM-2は接合部のボルトの破断であったが、鉄骨はそれ以前に引張り降伏に達していた。

荷重 - たわみ関係を図3-9に示す。合成度0.30相当のLM-1は、合成度0.34のスタッドを用いた試験体と比べると、最大耐力後の変形性能はやや劣るものの、ほぼ同等の性能を有していることがわかる。一方、合成度0.15相当のLM-2では短期設計荷重に至る前に剛性低下が大きくなるが、この傾向は同程度の合成度のスタッドの場合と同様である。

初期剛性と合成度の関係を図3-10に示すが、いずれも式(2-2)($\alpha=0.5$)による値を上回っており、この式を用いて初期剛性を評価できる。

(4) まとめ

- ・溶接方式、ボルト方式による形鋼シアコネクタにより、頭付きスタッドと同等の構造性能を確保でき、その合成度についても頭付きスタッドに対するものと同じ式により評価可能である。
- ・形鋼コネクタのせん断耐力は、母材のせん断耐力または土木学会支圧耐力により安全側に評価できる。
- ・曲げ耐力は、スタッドと同じ合成度に依存する式(2-1)により精度良く評価できる。

以上から、形鋼コネクタを適用可能なシアコネクタ工法に追加することとしたが、実験結果に基づき最小必要量を0.3以上とした。

4. まとめ

本工法を用いた合成壁は合成度0.25以上が確保されれば、施工誤差や仮設時の先行応力、界面付着の喪失があったとしても、地下壁として要求される構造性能を満足することができる。

セパレータ取り付け金物と兼用可能なタップ付きスタッドおよび形鋼コネクタ、さらに施工精度が確保できない場合に有効な異形鉄筋スタッドは、シアコネクタとして頭付きスタッドと同等の構造性能を確保しており、既往の設計手法が適用可能である。

形鋼コネクタの合成度は頭付きスタッドに準じた方法で評価可能であり、合成度が同じであれば構造性能も同等である。

以上の検討結果に基づき、スタッド最小必要量の低減および特殊スタッド、形鋼コネクタの適用に関し、設計・施工指針を改訂した。

本工法は、施工合理化とともに、資源の有効利用にも繋がる環境配慮型の工法で、すでに施工実績もある。今後さ

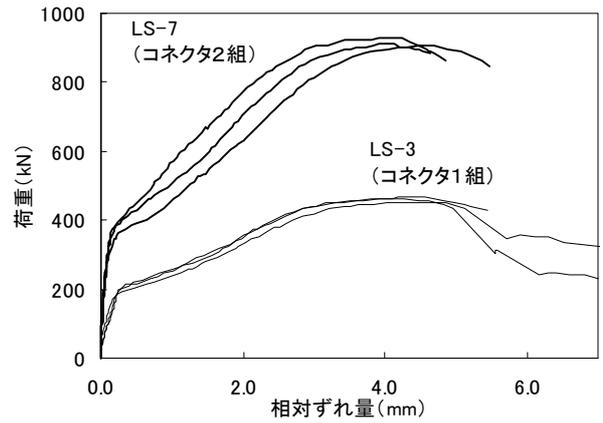


図3-8 荷重 - 相対ずれ関係の比較 (コネクタ数)

表3-8 曲げせん断試験結果一覧 (単位: kN, kN/mm²)

試験体 No.	合成度	実験値		設計荷重			実験 終局
		初期剛性	最大値	長期	短期	終局	
LM-1	0.30	123	828	299	448	789	1.05
LM-2	0.15	96	716	267	399	659	1.09
スタッド	0.34	142	795	299	448	824	0.97

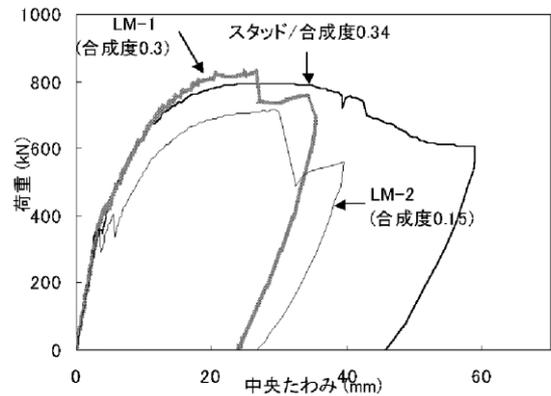


図3-9 荷重 - たわみ関係

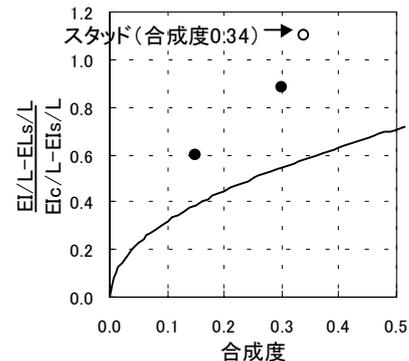


図3-10 初期剛性と合成度の関係

らに実績を通じて、一層の合理化をはかって行きたい。付記:本研究は鉄建建設、五洋建設との共同研究として実施したものである。

参考文献

- 1) 千葉他:戸田式合成地下壁工法(TO-SCW)の開発(その1ソイルセメント柱列壁芯鉄骨とRC地下外壁の一体化による有効利用工法),戸田建設技術研究報告,第26号,2)日本建築学会:各種合成構造設計指針・同解説,第1編 合成ばり構造設計指針,第4-6章, pp.52-87,1985,3)土木学会:鋼コンクリートサンドイッチ構造設計指針(案),1992