

2. 地中連続壁の本体利用に関する研究開発 (その2 合成壁工法)

内井 栄二
木村 建治
森 浩二

要 旨

前報にて、開発中の本設型地中連続壁工法のうち、「壁間剛接継手工法」の概要と構造実験結果について報告した。本報は、その2として「結合鉄筋継手工法」ならびに「合成壁工法」について、その開発概要と実験結果を述べる。

キーワード

結合鉄筋／コンクリートコッター／合成壁／接着系アンカー／壁間剛接継手

目 次

1. はじめに
2. 工法概要
3. 構造実験
4. ま と め
5. あとがき

2. RESEARCH ON THE UTILIZATION OF PERMANENT DIAPHRAGM WALLS AS PERMANENT STRUCTURES (PART II : COMPOSITE WALL)

Eiji Uchii
Kenji Kiura
Koji Mori

Abstract

In our previous paper on diaphragm walls, we reported on a vertical rigid joint for two-way spanning walls. This paper gives an outline of, and reports on the experiments on, the connecting joint method, as well as a composite wall method.

1. はじめに

大規模な地下構造物を構築する方法として地中連続壁工法がある。近年では建設構造物の高層化と地下の大深度化にともない、地中連続壁の壁厚が非常に大きくなってきており、このため、本設型地中連続壁の合理化工法の開発が脚光を浴びている。現在、それを合理化する方法として、地中連続壁の継手部に曲げ剛性を持たせる「壁間剛接継手工法」、地中連続壁と後打ち躯体を一体化する「結合鉄筋継手工法」¹⁾ 地中連続壁と後打ち壁を接合する「合成壁工法」等が開発されている。

当社でも本設型地中連続壁工法の合理化を行うため独自の研究開発を進めており、前報において鋼板補強型の新しい「壁間剛接継手工法」を紹介した。本報では、一般的に知られている合理化工法は他の報文にゆずり、コンクリートコッターを併用した「結合鉄筋継手工法」ならびに既開発の鋼板補強型の壁間剛接継手を含む「合成壁工法」についてその概要と実験結果を報告する。

2. 工法概要

2.1 結合鉄筋継手工法

「結合鉄筋継手工法」は、地中連続壁と後打ち躯体を、せん断力を伝達させる結合鉄筋とコンクリートコッターを組み合わせ一体化する工法である。

本工法では、後打ち躯体を地中連続壁に結合する方法として

- ① 曲げ起こし鉄筋
- ② 接着系アンカー
- ③ スタッodzベ
- ④ ネジ節鉄筋
- ⑤ 溶接および圧接

の5種類のものを採用し、その継手部の構造として、図-1に示すように結合鉄筋を壁面に対して直角に伸ばしてせん断抵抗を期待するものと、図-2に示すように山型鋼等を利用して結合鉄筋を斜めに配置するようにあと溶接してその引張り抵抗を期待するものの2種類の形式を採用することとした。

接合鉄筋とコンクリートコッターとの併用は、接着圧が期待できる柱、梁や面外力に対して後打ち壁が圧縮側となる合成壁への適用を原則とする。この場合、地中連続壁の接合部表面は必要に応じて洗浄目荒しや

はつり目荒しを行なうものとした。

2.2 合成壁工法

ここでいう合成壁とは図-3に示すように地中連続壁と後打ち壁との打ち継ぎ面の全部または一部に接合面を設けて構造的に一体としたものである。この打ち継ぎ面は2.1の結合鉄筋を応力状態により適切に配置して、洗浄目荒しやはつり目荒しを行なう。

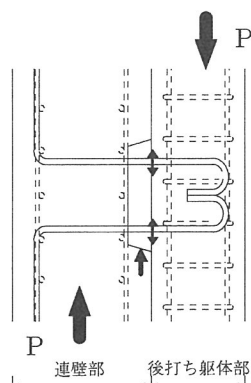


図-1 接合鉄筋 (その1)

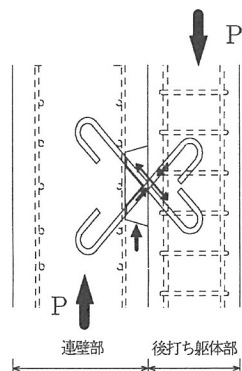


図-2 結合鉄筋 (その2)

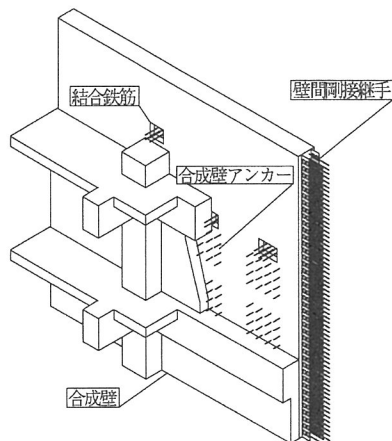


図-3 構法概要

3. 構造実験

3.1 結合鉄筋に関する実験

(1) 実験目的

本実験は、結合鉄筋とコンクリートコッターにより結合された接合面の直接せん断実験を行なうことで、その継手機構を把握し、かつ耐力評価式に関する検討資料を得ることを目的としている。

(2) 実験概要

試験体の概要を表－1に示す。表に示した試験体はコンクリートコッターを有する地中連続壁と後打ち躯体の打継ぎ面を想定したタイプである。図－4に示すような接合面に直交する結合鉄筋を用いた試験体が3体と、図－5に示すような山型鋼に結合鉄筋をあと溶接したシアコネクター型の試験体が1体である。なお、実験パラメーターは結合鉄筋比と結合方法である。

試験体形状と結合鉄筋およびコンクリートコッターの配置を図－4、図－5に示す。いずれの試験体も結合鉄筋の後打ち部の定着長さを $15d$ (d :結合鉄筋径)、コンクリートコッター形状を $40\text{cm} \times 40\text{cm}$ 、 $40\text{cm} \times 30\text{cm}$ とした。

試験体の載荷装置を図－7に示す。試験方法は連壁部頂部両端を載荷する押抜き二面せん断であり、一方向繰り返し荷重とした。なお、試験体に曲げの要素が発生するのを避けるために、後打ち躯体底部の接合面側直下の2ヶ所に支点を設けた。

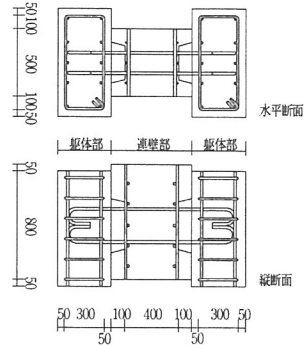
なお、結合鉄筋工法の耐力評価のため、図－6に示す試験体 (NSIM－1) のせん断実験結果を参考にした。この試験体は、今回の実験とは別に壁間剛接継手の継手性能を確認するために行ったものであり、せん断耐力は貫通鉄筋のせん断抵抗のみで決定されている。

表－1 試験体概要

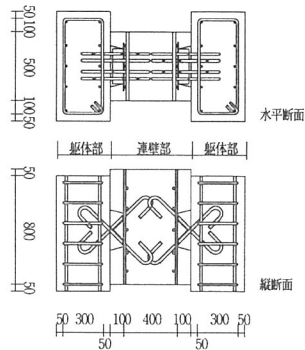
試験体	結合鉄筋比 P_s (%)	コッター 寸法 (cm)	接 合 面 処 理	連壁部 F_c (kgf/cm ²)	躯体部 F_c (kgf/cm ²)
SSSM-A	0.97 (4-D22)	40×40	はつり目荒し	370	324
SSSM-B	0.72 (4-D19)	40×40	はつり目荒し	344	319
SSSM-C	0.50 (4-D16)	40×40	はつり目荒し	344	319
SSCM-D	0.96 (4-D19)	40×30	はつり目荒し	370	324
NSIM-1	0.63 (8-D13)	なし	仕切り鉄板	337	337

* 使用した鉄筋はSD345で降伏強度は $3600 \sim 4000\text{kgf/cm}^2$ ある。

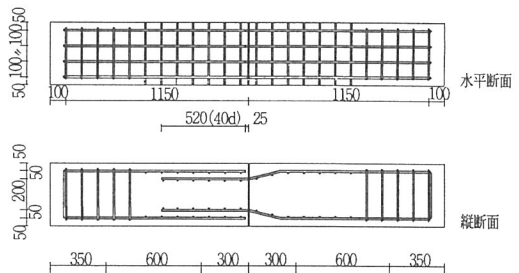
** NSIM-1 は架型の試験体で、大野式逆対称せん断試験を行った。



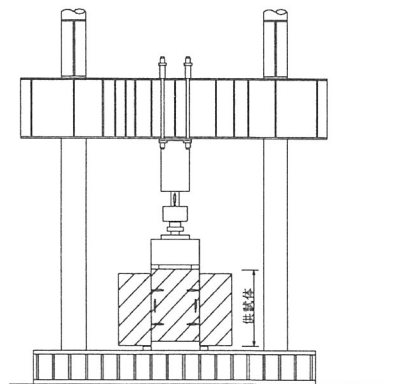
図－4 直接せん断試験体 (SSSM-A, B, C)



図－5 直接せん断試験体 (SSCM-D)



図－6 逆対称せん断試験体 (NSIM-1)



図－7 直接せん断試験載荷装置

(3) 実験結果

図－４の接合面に直交する結合鉄筋を持つ試験体は

①接合面に沿い微細な割目が生じた後、コンクリートコッターがひび割れるまですべりを生じない。

②コンクリートコッターがひび割れした後は、結合鉄筋にせん断力が伝達されてダウエル効果が発生するが、結合鉄筋自身が接合面の目開きを押えているために、最大耐力まで緩やかなすべりが続く。

③最大耐力直後に大きなひび割れと目開きを伴うすべり破壊が生じ、結合鉄筋が引張降伏する。

図－５の山型鋼に接合鉄筋をあと溶接したシアコネクタ型の試験体は

①コンクリートコッターがひび割れするまでは上記と同様の挙動を示す。

②せん断力の一部が結合鉄筋の引張力として伝達されるために、結合鉄筋の降伏が原因と思われる明確な耐力低下がみられる。

③その後は鉄筋破断まですべりと目開きが進行する。すべり破壊時のせん断応力度とその時の接合面のすべり量および目開き量を表－２に、せん断応力度 τ_u －すべり量 δ_h の関係を図－８に示す。

表－２ 直接せん断試験結果

試験体名	実験せん断応力度 τ_u (kgf/cm ²)	すべり量 δ_v (mm)	目開き量 δ_h (mm)
SSSM－A	122.4	2.3	0.5
SSSM－B	110.6	2.2	1.3
SSSM－C	99.8	1.3	2.2
SSCM－D	124.4	2.3	0.6
NSIM－１	17.5	20.0	—

*せん断応力度 τ_u はせん断力 Q をコッター断面積 A_c で除したものである

(4) 耐力評価式について

結合鉄筋工法の耐力評価式の決定にあたり、累加強度理論を仮定して、終局せん断応力度 τ_{∞} を(0)式のように定義する。

$$\tau_{\infty} = \tau_s + \tau_c \quad (0)$$

[τ_s :鉄筋部, τ_c :コンクリート部]

今回は、 τ_c がコンクリートコッターのみで決定されると仮定すると(0)式は次のようになる。

$$\tau_{\infty} = \alpha \cdot p_s \cdot \sigma_y + \beta \cdot F_c \quad (0)'$$

[p_s :結合鉄筋比, σ_y :鉄筋降伏強度, α および β :実験係数]

さらに、ACI規準などのせん断摩擦理論を参考にし、各係数を $\alpha = 1.0$, $\beta = 0.15$ とすると、基本式(1)を得る。

$$\tau_{\infty} = p_s \cdot \sigma_y + 0.15 \cdot F_c \quad (\text{引張型})$$

$$= p_s \cdot \sigma_y / \sqrt{3} + 0.15 \cdot F_c \quad (\text{ダボ型}) \quad (1)$$

[図－９中の(1),(2)式は F_c を300としている。]

上記試験体のすべり破壊時のせん断応力度 τ_u と結合鉄筋比 p_s と降伏強度 σ_y の積 $p_s \cdot \sigma_y$ の関係を図－９に示す。コッター有りの試験体４体は(1)式の計算値を大幅に超えているが、正の相関関係があることが分かる。

その最少二乗法による回帰式は以下ようになる。

$$\tau_{\infty} = 1.25 \cdot p_s \cdot \sigma_y + 77.4 \quad (=0.26 \cdot F_c) \quad (2)$$

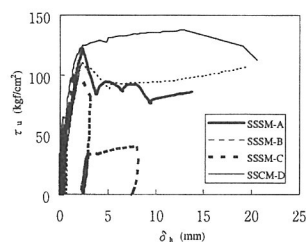
(1)式と(2)式の鉄筋部に関する係数 α の違いは、明らかに試験体数の不足によるものであるが、すべての試験体に関して結合鉄筋は「引張型」で機能したようである。また、 β が大きく異なったのは、コッター周辺部の未処理コンクリートの摩擦力が試験結果に反映されたためと考える。図－９に参考として載せたコッターなしの試験体(NSIM－１)の貫通鉄筋は、図中(3)式のように「ダボ型」として作用しているのが分かる。

以上の結果から、コッター外周部に目荒し処理を施した場合の結合鉄筋工法の耐力評価式を以下のように提案する。

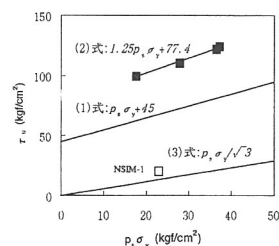
$$Q_{\infty} = \alpha \cdot p_s \cdot \sigma_y + \beta \cdot F_c \cdot A_c + \gamma \cdot \sigma_n \cdot F_c \cdot A_s \quad (\text{引張型})$$

$$= \alpha \cdot p_s \cdot \sigma_y / \sqrt{3} + \beta \cdot F_c \cdot A_c + \gamma \cdot \sigma_n \cdot F_c \cdot A_s \quad (\text{ダボ型})$$

[A_c :コッタ面積, A_s :目荒し部面積, σ_n :面圧, γ :実験係数]
なお、式中の係数 α , β , γ については現在実験を計画中であり、別報にて報告する積りである。



図－８ $\tau_u - \delta_h$ 関係



図－９ 実験値と計算値の比較

3.2 合成壁に関する実験

(1) 実験目的

本実験は、連壁部と後打ち壁部からなる合成壁の模型曲げせん断実験を行なうことで、接合面積および面外応力方向の違いによる合成壁の変形性能と、一体性の変化を把握するために行ったものである。

(2) 実験概要

試験体の概要を表－3に示す。表に示した試験体は連壁と後打ち壁を接着系アンカーで接合した1/2縮小模型であり、すべての連壁部に当社で開発した壁間剛接継手を持つ。断面形状は、連壁部で40cm×40cmで後打ち壁部で40cm×20cmであり、鉄筋比はそれぞれ1.79%と2.87%である。スパン長はL=200cmでシアスパン比(M/Qd)は1.67である。実験のパラメータは接合面積比と荷重方向である。

試験体の配筋図を図－10に、試験体の接合面仕様を図－11に示す。接合筋はエポキシアクリレート系のアンカーであり、連壁部のフックつき結合鉄筋の定着長は15dである(d:接合鉄筋の径)。

試験体の荷重装置を図－12に示す。試験方法は試験体両支点を単純支持とした中央集中荷重であり、一方方向増荷重とした。

表－3 試験体概要

試験体	形状 (mm)	配筋	補強鋼板 (mm)	連壁部 F _c (kgf/cm ²)	後打ち壁部 F _c (kgf/cm ²)
CBSM-1	連壁部 400×400×2500	10-D19 (SS400)	t=6 (SS400)	306	385
CBSM-2				308	414
CBSM-3	後打ち壁部 400×400×2500	後打ち壁部 8-D19	孔: 70×70 @100	308	414
CBSM-4				391	289
CBSM-5				396	304

* 使用した主筋はSD345で降伏強度は3800～400kgf/cm²
結合鉄筋はSD295で降伏強度は3450kgf/cm²

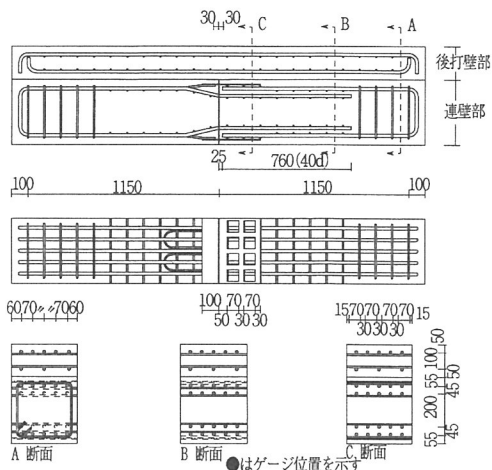
表－4 曲げせん断試験結果

試験体	荷重方向	実験耐力 Q _{max} (tf)	曲げ耐力 Q _{mu} (tf)	せん断耐力 Q _{su} (tf)	破壊モード
CBSM-1	正	48.0	80.6	32.4	曲げせん断
CBSM-2	正	52.1	80.6	32.6	曲げせん断
CBSM-3	負	45.6	40.3	32.6	曲げせん断
CBSM-4	正	41.9	80.6	31.3	曲げせん断
CBSM-5	負	40.0	40.3	32.3	曲げせん断

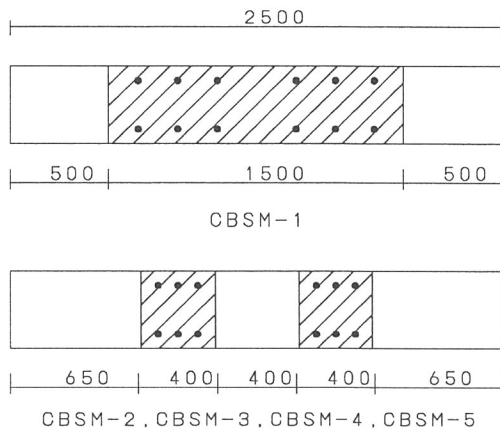
荷重方向は土圧方向(連壁部が荷重上面)を正とする。

$$Q_{mu} = 0.9At \cdot \sigma_y \cdot d / (L / 2)$$

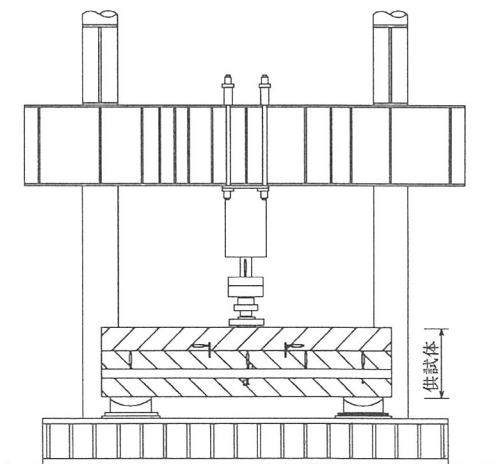
$$Q_{su} = [0.068F^{0.23}(\sigma B + 180) / (M/Q) + 0.12] b \cdot j$$



図－10 試験体配筋図



図－11 試験体接合面仕様



図－12 曲げせん断試験荷重装置

(3) 実験結果

せん断力 Q と中央部変位 δ の関係を図-13に、代表的なひび割れ状況を写真-1に示す。すべての試験体の破壊モードは曲げせん断破壊であり、表-4に示すように、各試験体の最大耐力実験値は大野・荒川mean式による最大耐力計算値を上回っており、接合面積や載荷方向の違いによる顕著な違いは認められなかった。

なお、連壁部を引張側に載荷した試験体2体は、共に重ね継手部の付着割裂の兆候は見られなかった。

接合面の相対すべり量の試験結果の一例を図-14に示すが、いずれの試験体も0.5mm以下と非常に小さい値であり、合成壁の一体性が確保できていることが確認できた。

4. まとめ

- ① 結合鉄筋工法によるすべり破壊時のせん断応力度は、鉄筋のせん断耐力とコンクリートコッターのせん断耐力効果および接合面の摩擦によるせん断抵抗の累加式で評価できることを確認した。
- ② 合成壁の接合面積が全体の合成面の面積の1/2程度確保できればその一体性が確保されることを確認した。
- ③ 前報と本報で紹介した実験から、当社において開発を手掛けてきた鋼板補強型の壁間剛接継手工法が付着割裂破壊を起こしにくく、また面内外力に対して安定した性能を発揮することを確認した。ただし、今回の合成壁実験の負載荷のように、連壁部が引張側になるような場合は、壁間剛接継手の耐力を付着割裂式で定義しなければならないケースが十分にあり、注意が必要と考える。

5. あとがき

これまで、本設型地中連続壁工法の合理化を目的に研究開発を行ない、その構造性能を確認するために種々の実験を行ってきた。今後は施工仕様に関する基準を作るための施工実験を繰り返し行い、良好な精度と性能を確保できる設計・施工指針の策定を行う予定である。

最後に、本工法の開発・実験にあたり、御指導頂いた関西大学八尾眞太郎教授ならびに有益なアドバイスを頂いた関係各位の方々に深く感謝の意を表します。

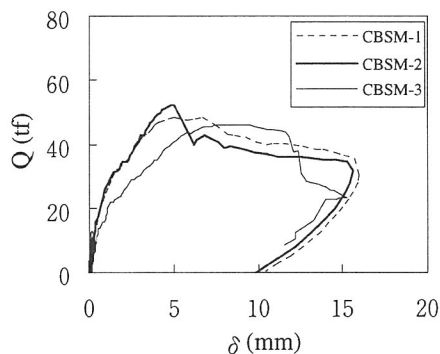


図-13 Q- δ 関係

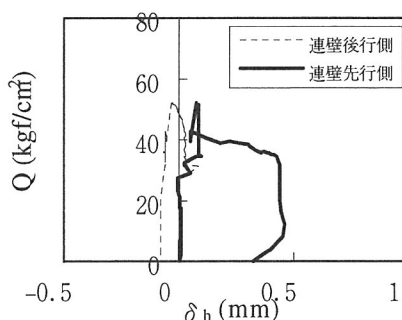


図-14 相対すべり量

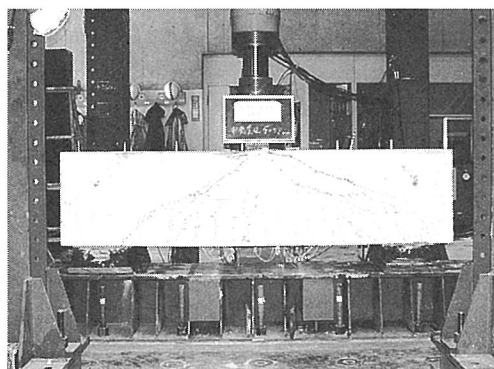


写真-1 曲げせん断試験ひびわれ状況
(CBSM-2)

[参考文献]

- 1) 浅沼組技術研究所報 NO. 6
「地中連続壁の本設利用に関する研究開発:その1」
- 2) 日本建築学会「プレキャストコンクリート構造の設計と施工」
- 3) 日本建築学会「鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説」
- 4) 岡田、六車：コンクリート工学ハンドブック