

地中壁と後打ち壁からなる合成壁の設計法に関する研究（その5）

——合成壁構造設計法の提案——

古屋 則之 海老原 武
(本社 建築本部設計第六部)

菊地 利武 小嶋 克朗

Study of Design Method on RC-RC Composite Walls Made of Underground Diaphragm Walls and Inner Walls (Part 5)

——Proposal for Structural Design Method of Composite Walls——

Noriyuki Furuya Takeshi Ebihara
Toshitake Kikuchi Yoshiro Kobatake

Abstract

This study was made to establish a design method for the case of using underground diaphragm walls as structural walls in the form of composite walls made by joining together with inner walls for the purpose of more rational use of underground diaphragm walls. This report describes a structural design method for composite walls based on the results of experimental studies carried out up to this time. The structural union of the two walls is further ensured by arranging connectors at key areas on the joint surface in addition to washing the whole joint surface by water jets after trenching which in itself is adequate. The dimensions of the connecting areas, the connector locations, and quality of connectors can be set up in accordance with the shear stress on the joint surface, and this is a feature of the design method.

概 要

この研究は、地中連続壁のより合理的な活用方法として、地中連続壁の内面に後打ち壁を打継いで構築した合成壁を、地下外壁として利用する場合の、設計法を確立することを目的としたものである。この報告では、これまでに実施した一連の研究のまとめとして、実験結果に基づいて検討した合成壁構造設計法について述べている。地中壁と後打ち壁との一体化は、ウォータージェットで地中壁面を洗浄処理するだけで十分であるが、この設計法では、さらに接合鉄筋も配筋した接合部を要所要所に設けることによって、より確実なものとしている。これらの接合部の大きさや配置、接合鉄筋量などは、せん断力分布に対応して設定することができ、これがこの設計法の特徴の一つともなっている。

1. 序

この研究は、仮設山留め壁や耐震壁、基礎杭などとして用いられる地中連続壁（以下、地中壁と称す）のより合理的な利用技術の確立と利用分野の拡大を計るために、地中壁の内面に後打ち壁を打継いで構築した合成壁を、土圧・水圧と地震時水平力を負担する地下外壁として利用する場合の、設計法を確立することを目的としたものである。

同題(その1)¹⁾では、地中壁全面をウォータージェットで洗浄処理した合成壁の、基本的な面外方向の構造性

能を検討した。

同(その2)²⁾では、合成壁によって構成した地下耐震架構の、水平力に対する面内方向の構造性能を検討した。

同(その3)³⁾では、コンクリートの乾燥収縮やその他の要因によって合成面の一部に肌分かれを生じた場合や、地中壁断面内に根切り時の側圧によるひびわれを伴う先行応力が存在する場合の、合成壁の面外方向構造性能に及ぼす影響を検討した。

同(その4)⁴⁾では、合成壁接合部における許容せん断応力度を検討するとともに、地中壁合成面の品質管理方法を検討し、提案した。

この報告は、一連の研究のまとめとして、これまでの研究成果に基づいて検討した合成壁の構造設計法について述べたものである。

2. 合成壁の設計方法

2.1. 設計の基本方針

合成壁は一体壁として扱い、許容応力度に基づいて設計する。ここで特に記した以外の項目については、日本建築学会・鉄筋コンクリート構造計算規準（以下、RC規準と称す）に準拠する。

同題（その3）³⁾では、地中壁部分に根切り時のひびわれを伴う先行応力が存在していても、合成壁構築後の面外方向の構造性能は、終局強度的には先行応力の影響がほとんどないことが確認された。従って、合成壁の設計は、終局強度設計法に基づいて行なうのが合理的であるが、設計法として確立しようとした場合に、限界状態の定義、荷重割り増し係数や耐力低減係数などが検討段階にある現状から、運用面で設計の妥当性が必ずしも保証されない場合も考えられるため、従来どおりの許容応力度設計法で行なうこととした。

2.2. 適用範囲

この設計法は、地下外壁を合成壁で設計する場合を対象とするものであり、地下構造体の設計フローの中で、合成壁としての設計範囲は、図-1の中での一点鎖線で囲まれた範囲である。

2.2.1. 合成壁の概要

ここでいう合成壁とは、根切

りを行ないながら、または根切り後に、地中壁の内面に後打ち壁を打継いで構築する壁（図-2参照）を指す。

合成壁は、地中壁相互のジョイント部（以下、パネルジョイント部と称す）の施工方法の違いによって、図-3のような3種類のタイプがある。同図の（1）は、ロッキングパイプ工法などで施工され、地中壁相互間で応力伝達のない場合（以下、Sタイプと称す）である。同（2）は、鉛直ジョイント工法で施工され、横筋とシアコネクターなどにより応力伝達が行なわれる場合（以下、Mタイプと称す）である。同（3）は、カッティングジョイント工法で施工され、カッティング面で応力伝達が行なわれる場合（以下、Cタイプと称す）である。

2.2.2. 合成面の構成 合成壁の一体性は、同題（その1）¹⁾の結果によれば、基本的には高圧のウォータージェットで地中壁面を洗浄処理するだけで確保されるが、ここでは、洗浄処理だけでなく、せん断応力に応じて要所所に接合鉄筋を配筋することによって、より確実なものとする。従って、合成面は、図-2に示すように洗

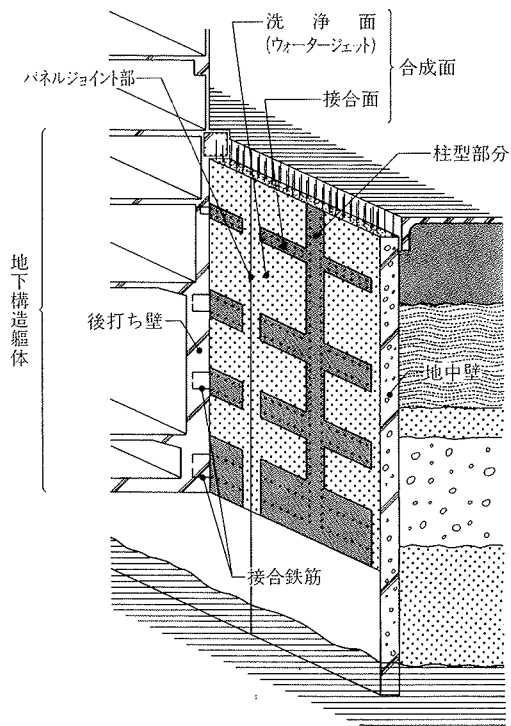


図-2 合成壁による地下外壁概念図

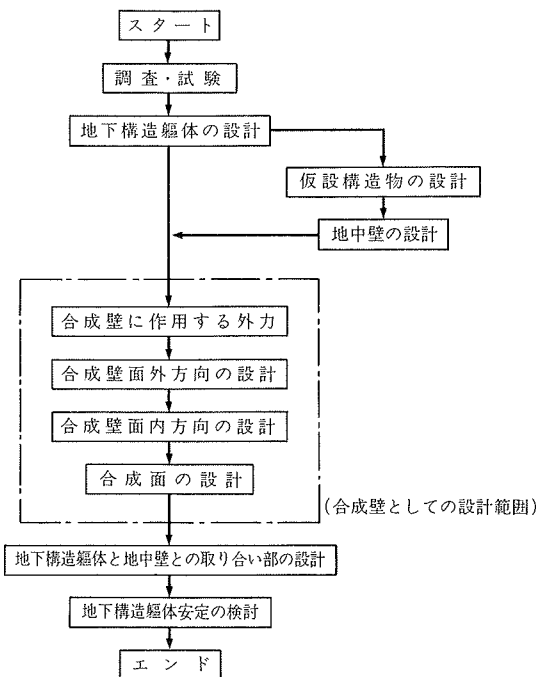


図-1 地下構造体の設計フロー

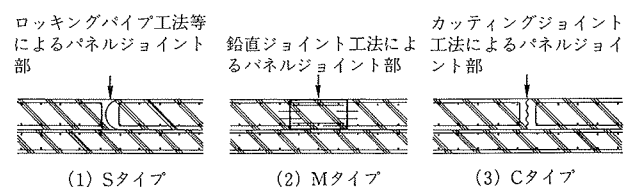


図-3 合成壁の種類

浄処理を行なうだけの面 (以下、洗浄面と称す) と接合鉄筋も配筋される面 (以下、接合面と称す) の両者から構成される。

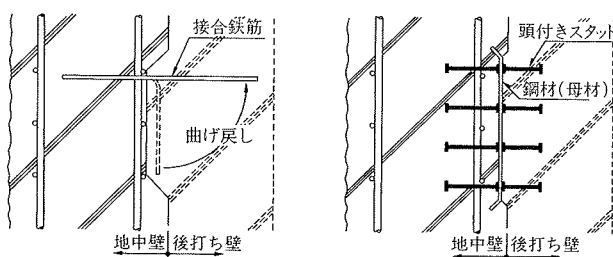
2.2.3. 接合方法 地中壁と後打ち壁との接合法としては、同題(その4)⁴⁾に示したように、2種類の方法(図-4参照)がある。一つは、曲げ加工した異形鉄筋をあらかじめ地中壁側に埋設しておき、根切り後に、地中壁面を高压洗浄するとともに鉄筋を取り出し、これを曲げ戻して接合鉄筋として用いる方法(以下、鉄筋埋込み工法と称す)であり、他の一つは、頭付きスタッドを先付けした鋼材(平鋼)を地中壁表面に埋込んでおき、根切り後に、鉄筋埋込み工法と同様に地中壁面を高压洗浄し、先付けしたスタッドの軸芯位置の鋼材上に頭付きスタッドを水平打ちして、これを接合鉄筋として用いる方法(以下、スタッド溶接工法と称す)である。

2.3. 使用材料と材料の許容応力度

2.3.1. コンクリート 使用するコンクリートは、設計基準強度 F_c を $210 \sim 270 \text{ kg/cm}^2$ の範囲とする。許容応力度としては、泥水中で打設される地中壁側のコンクリートに対して設定される値を用い、RC 規準の $3/4$ 倍の値(表-1参照)とする。

後打ちコンクリート部分の許容応力度は RC 規準どおりでも良いが、合成壁のコンクリートの許容応力度として、地中壁側と後打ち壁側のいずれか小さい方の値を採用することとして両者を比較すると、上記のコンクリート強度の範囲内では地中壁側が常に小さいことから、このように規定することとした。

2.3.2. 鉄筋およびスタッド 鉄筋の許容応力度は RC 規準に定める値とする。



(1) 鉄筋埋込み工法 (2) スタッド溶接工法

図-4 合成壁の接合法

圧縮	引張	長期		短期		
		せん断	付着	せん断	付着	
$F_c/4$	—	$F_c/40$ かつ	$0.075F_c$ かつ	長期の 2倍	長期の 1.5倍	長期の 1.5倍
		$3.75 + \frac{3}{400}F_c$ 以下	$10.1 + \frac{3}{100}F_c$ 以下			

F_c は地中壁コンクリートの設計基準強度 (kg/cm^2) を表す

表-1 コンクリートの許容応力度

スタッドは JIS B 1198 に適合する頭付きスタッドとし、短期許容引張応力度は降伏点規格値とする。

2.4. 荷重および応力・変形の算定

荷重および外力とその組合せについては、建築基準法施行令による。

合成壁は、土圧・水圧による面外力に対しては、通常は各階のスラブ位置で支持された上下方向の連続版として扱う。ただし、M タイプ合成壁の場合は二方向版として扱うこともできる。

地震時の面内力に対しては、基礎を固定とする一体化された耐震壁として扱う。これは、同題(その2)²⁾において、パネルジョイント部での応力伝達がない S タイプ合成壁であっても、合成壁による架構が形成されていれば、面内力に対しても一体化された耐震壁として挙動することが確認されているからである。

応力および変形は、弾性剛性に基づいて算定するが、面外方向において仮設時の土圧・水圧によるひびわれの影響が考えられる場合には、剛性低下を考慮して算定する。

2.5. 部材の算定

算定された面外方向応力に対しては上下方向の版をはりとして、面内方向応力に対しては耐震壁として、それぞれ RC 規準に準じて断面算定を行なう。

なお、耐震壁としての許容水平せん断力 Q_A は、(1)式で表わす。

$$Q_A = \beta \{(t_1 + t_2) \cdot l \cdot f_s\} \dots\dots\dots(1) \text{式}$$

ここに、

β : せん断力低減係数 (S タイプ合成壁の場合は 0.8 とし、他は 1.0 とする)

t_1, t_2 : 地中壁と後打ち壁のそれぞれの壁厚 (cm)

l : 合成壁の面内方向の長さ (cm)

f_s : コンクリートの短期許容せん断応力度 (kg/cm^2)

同題(その2)²⁾では、パネルジョイント部での応力伝達がない S タイプ合成壁で、地中壁と後打ち壁との間に接合鉄筋がない場合には、耐震壁としてのせん断強度は一体壁の 80% 強であり、0.1% の接合鉄筋を配筋した場合には一体壁と同等であった。後述するように、合成壁には 0.1% 以上の接合鉄筋が必ず配筋されることから、S タイプ合成壁の許容水平せん断力を低減する必要はないといえるが、安全側の配慮から、接合鉄筋がない場合の実験結果をもとに、0.8 倍に低減することとした。

2.6. 合成面の設計

合成面の設計は、面外力や軸力などに対して行ない、水平荷重時の面内方向のせん断力に対しては合成面の検討を行なわない。これは、面内方向のせん断力に対して

は、許容せん断力の低減(2.5節参照)や、合成壁部分、各階はり部分、脚部地中はり部分などには接合鉄筋の最小規定(2.6, 2.7節参照)を設けるなどして、それだけで設計上要求される面内方向の構造性能を満足できるようにしたためである。

合成壁部分には、土圧・水圧による面外方向のせん断力が、また、柱型部分には、さらに水平荷重時の面外方向のせん断力や軸力が作用し、これらの外力によって、合成面には面に平行なせん断力が働く。ここでは、合成壁部分の合成面(図-5参照)に対する設計方法を述べる。柱型部分の合成面ではこれに準じて設計するものとする。

2.6.1. 設計せん断力の算定 土圧・水圧によって各階の合成壁に作用する面外方向のせん断力は、通常は図-6(1)のように分布し、合成面のせん断応力度 τ も階高の中間で小さい同図(2)のような分布となる。

ここでは、このようなせん断応力度分布に配慮して、 τ の大きさがコンクリートの付着力のみに依存する許容せん断応力度 f_t を越える領域については、設計せん断力 Q_{Dj} を(2)式で算定する。 f_t は長期に対しては 5.5 kg/cm^2 、短期に対してはこの1.5倍の値とする。

$$Q_{Dj} = \tau \cdot A_j \quad \dots\dots\dots(2)\text{式}$$

$$\tau = Q / (b \cdot j) \quad \dots\dots\dots(3)\text{式}$$

ここに、

- Q_{Dj} : 合成面の設計せん断力 (kg)
- τ : 設計せん断力を求める合成面内の最大せん断応力度 (kg/cm^2)
- A_j : 同合成面の面積 (cm^2)
- Q : 面外方向の設計せん断力 (kg)
- b : 幅 (通常は単位幅 100 cm)
- j : 面外方向の応力中心距離で $(7/8)d$ とする (cm)
- d : 面外方向の有効せい (cm)

一方、 τ の大きさが f_t 以下の領域については設計せん断力の算定を省略し、その領域の合成面面積の0.1%以上の接合鉄筋を配筋することとする。

同題(その4)⁴⁾の検討から、実物接合部のコンクリートの付着力に依存するせん断強度下限値は、鉄筋埋込み工法、スタッド溶接工法ともに 17 kg/cm^2 程度であることが分かり、長期に対しては安全率3をとり、 $f_t = 5.5 \text{ kg/cm}^2$ とした。 $\tau \leq f_t$ の領域では、応力度が小さいために接合鉄筋がなくてもよいが、付着劣化に対する安全性を見込み、合成面面積の0.1%以上の接合鉄筋を配筋することとした。これは、ACI318-77のせん断補強筋の最小規定値に準じて定めた値である。

2.6.2. 接合面の許容せん断力 接合面は、設計せん

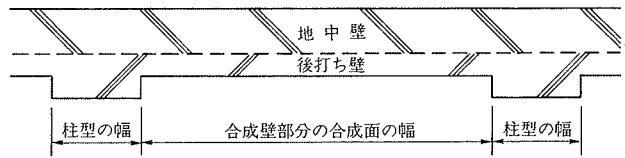


図-5 合成壁による地下外壁水平断面

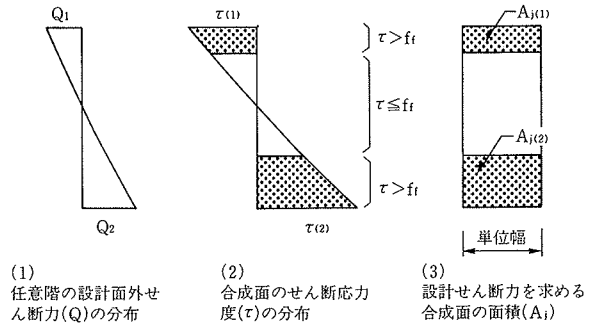


図-6 合成面の設計せん断力の算定

断力を算定した合成面内 ($\tau > f_t$ の領域) に設定し、接合面の設計を以下のように行なう。

(1) 接合面の許容せん断応力度 接合面の長期許容せん断応力度 $f_{s,t}$ (kg/cm^2)を以下に示す。短期はこの1.5倍とする。

i) 鉄筋埋込み工法の場合

$$f_{s,t} = 4.1 + 0.23p_s \cdot \sigma_y + 0.53\sigma_o \quad \dots\dots\dots(4)\text{式}$$

ii) スタッド溶接工法の場合

$$f_{s,t} = 1.5 + 0.26p_s \cdot \sigma_y \quad \dots\dots\dots(5)\text{式}$$

ここに、

- p_s : 接合鉄筋比(接合鉄筋全断面面積の接合面面積に対する比), $0.002 \leq p_s \leq 0.011$
- σ_y : 接合鉄筋の降伏応力度で、短期許容引張応力度を用いる (kg/cm^2)
- σ_o : 面圧(接合面に作用する垂直応力度, kg/cm^2)

(4), (5)式は、同題(その4)⁴⁾の検討結果に基づき、実物接合部のせん断強度下限値に対して3倍の安全率を有する式である。接合鉄筋比の範囲は、同検討結果から、補強効果を発揮するために0.2%以上とし、実験の範囲や接合鉄筋の配筋密度の限界などを考慮して1.1%以下とした。

面圧を考慮できる接合面は、図-7に示す範囲内に限り、面圧は、土圧・水圧によってスラブ位置に作用する支点反力をこの接合面面積で除した値とする。

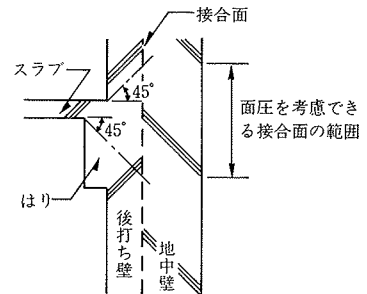


図-7 面圧を考慮できる接合面の範囲

(2) 接合面の許容せん断力 接合面の許容せん断力 Q_{AJ} は、(6)式で表わす。

$$Q_{AJ} = f_{s,t} \cdot A_{jo} \quad \dots\dots\dots(6)式$$

ここに、

A_{jo} : 接合面の面積 (cm²)

2.6.3. 接合鉄筋の配置 接合面に対して算定した接合鉄筋量は、これを接合面全体に均等に配置する。

せん断応力度が小さくて0.1%以上の接合鉄筋を配筋する領域では、これを合成面全体に均等に配置するか、部分的に接合面を設定して、その中に同量を集中的に配置する。

接合面は、曲げモーメント勾配が大きく、面外方向のせん断力大きいはり部分には必ず設けるものとし、接合面の合成面に対する面積比率は、同題(その2)²⁾の研究成果に基づいて、①合成壁が面外力に対して曲げで設計される場合には1/4以上、②同、せん断で設計される場合には1/2以上確保することとする。

図-8は、曲げ設計型で、階高が4m程度の合成壁の接合面の配置例を示したものである。せん断設計型の場合は、接合面の上下方向の幅を大きくし、また、階高が高い場合には、接合面の数を増やせばよい。

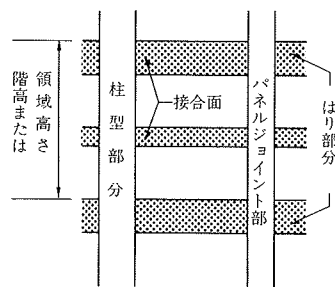


図-8 接合面の配置例

2.7. 構造細則

地中壁頂部の鉛直方向の主筋は、頭部つなぎばり内に全て定着し、地中壁と各階はりおよび脚部地中ばりとの接合面には0.2%以上の接合鉄筋を配筋する。これは、同題(その2)²⁾の研究成果に基づき、耐震壁架構としての一体性を確保するためである。

鉄筋埋込み工法で接合鉄筋として用いる鉄筋は、D10以上の異形鉄筋とし、スタッド溶接工法に用いる頭付きスタッドは、水平打ちする関係から13φまたは16φの径のものを用いる。

接合鉄筋として用いる異形鉄筋の定着長は、フックなしの場合は地中壁と後打ち壁内にそれぞれ30d以上、フック付きの場合は10dずつ減じてよいものとする。頭付きスタッドの定着長は、先行壁内には13d以上、後打ち壁内には10d以上とする。これらの数値は、同題(その

4)⁴⁾や、スタッドを用いた接合部に関する研究結果^{5,6)}に基づいて定めたものである。

3. 結び

地中壁と後打ち壁からなる合成壁に関する一連の研究成果に基づいて、合成壁を土圧・水圧と地震時水平力を負担する地下外壁として利用する場合の設計法を検討し、提案した。

合成壁による地下外壁は、階高や深さに応じて壁厚を任意に選択することができ、根切り深さが深くなるほどその特徴が発揮され、特に、超高压地下変電所のように変電機器のために地下の階高が高い構造物の場合には、壁厚の減少による建築面積の縮小や、地下躯体工事費の削減が計れるなど、合理的で経済性の高い設計が可能となる。

なお、この工法による合成壁については、日本建築センター基礎評定委員会での審議を経て、接合部の許容せん断力や構造機能に関する性能評定(BCJ-F42, BCJ-F46)を昭和63年10月に取得した。

謝 辞

この研究の一部は、東京電力(株)の委託により、東電設計(株)と共同で実施したものであり、関係各位に深く感謝致します。実施に当たっては、東京本社特殊工法部、同・工務部と共同で作業を進めた。

参考文献

- 1) 古屋, 小島, 武田: 地中壁と後打ち壁からなる合成壁の設計法に関する研究(その1), 大林組技術研究所報, No. 34, (1987), pp. 92~98
- 2) 菊地, 古屋, 津田, 小島, 武田: 同題(その2), 大林組技術研究所報, No. 36, (1988), pp. 45~50
- 3) 古屋, 津田, 菊地, 小島, 武田: 同題(その3), 大林組技術研究所報, No. 36, (1988), pp. 51~56
- 4) 古屋, 菊地, 津田, 小島: 同題(その4), 大林組技術研究所報, No. 39, (1989), pp. 82~86
- 5) 菊地, 小島, 武田: WALL FOUNDATIONによる耐震架構の開発研究(その1), 大林組技術研究所報, No. 30, (1985), pp. 20~24
- 6) 入沢, 菊地, 小島, 武田: カuttingジョイント工法による地中連続壁鉛直継手部の実大実験, 大林組技術研究所報, No. 35, (1987), pp. 35~41