

PC板による山留壁の構造体利用に関する研究（その5）

——PRECAST BASEMENTの計画・設計・施工——

小 嶋 克 朗 武 田 寿 一
菊 地 利 武

Structural Use of Retaining Walls of Precast Concrete Panels (Part 5)

——Construction Methods and Structural Design of the PRECAST BASEMENT——

Yoshiro Kobatake Toshikazu Takeda
Toshitake Kikuchi

Abstract

The purpose of this study is development of methods of applying precast diaphragm walls, or “underground wall using precast concrete panels (PC panels)” for utilization in basement structures (called PRECAST BASEMENT and abbreviated as PB) carrying earth pressure, water pressure and horizontal forces during earthquake and usually employed as temporary works earth retaining walls. The previous reports gave comparison studies of in-plane joining methods between PC panels (Part 1), examination of details of joints by bending shear strengths of the vertical joining method between PC panels newly devised, called PB-J Method (Part 2), study of the influence of the structural performance of the framework and the ease of execution of the PB-J Method by horizontal loading tests of specimens true to actual full-size precast walls (Part 3), and examination of the shear strength of the PC panel vertical joint by the PB-J Method, and these were respectively reported. The present report is a summary of this development study and describes the method of constructing PB, the problems and outlines of studies thereof, problems of structural performance and results of studies thereof, and the outline of design.

概 要

この研究の目的は、通常仮設山止め壁として用いられる、PC地中壁「プレキャストコンクリート板(PC板)による地中壁」を、土圧・水圧および地震時水平力を負担する地下本体構造(これをPRECAST BASEMENTと通称しPBと略記)として利用するための開発研究を行なうことである。前報では、(その1)でPC板相互の面内接合法の比較検討を、(その2)で新しく考案したPC板相互の鉛直接合法(これをPB-J工法と通称)の曲げせん断強度による接合部詳細の検討を、(その3)で実物実大構面試験体の水平加力実験による、架構の構造性能とPB-J工法の施工性による影響などの検討を、(その4)でPB-J工法によるPC板鉛直接合部のせん断強度の検討を、それぞれ報告した。本報告では本開発研究のまとめとして、PBの構築法、問題点とその研究概要、構造性能に関する問題点とその研究結果、および設計概要をそれぞれ述べている。

1. 序

場所打ち鉄筋コンクリート地中壁(以下単に場所打ち地中壁と呼ぶ)を構築する工法を、(株)大林組では、OWS-SOLETANCHE工法と通称している。この工法によって構築した地中壁に、地下外壁、耐震壁、基礎ぐいなどの構造機能を単独またはそれらの組合せでもたせた

地下構造体を、WALL FOUNDATION(以下WFと略記する)と通称し、全国における施工実績は200件以上に達している。

一方、場所打ち地中壁の施工と同じ掘削機械で溝状の穴を掘削し、その穴にプレキャスト鉄筋コンクリート板(以下PC板と呼ぶ)を連続に挿入して構築する、プレキャスト鉄筋コンクリート地中壁(以下単にPC地中壁

と呼ぶ)の施工実績が最近多くなっている。

本報告の PRECAST BASEMENT (以下 PB と略記する)とは、山止め壁も兼ねる PC 地中壁を本体構造に接合し、土圧および水圧による荷重と地震などによる荷重を負担させる地下構造体の総称である。

なお、PC 地中壁を構築する工法として (株)大林組では、独自の自硬性安定液を用いて掘削を行なった後 PC 板を挿入する工法、および場所打ち地中壁の施工で用いる安定液で掘削した後、この安定液を PC 板の挿入前または挿入後に、独自の自硬性安定液と置換する工法を採用している。この PB を構成する PC 地中壁を施工する工法を、WF を構成する場所打ち地中壁を施工する、OWS-SOLETANCHE 工法の中に今後含めることにしたが、WF と PB で使用する名称をまとめて表-1 に示す。

PC 地中壁工法は従来の地中連続壁工法と比較して次のような特長を有している。

- (1) 敷地境界や障害物に近接して施工でき、しかも壁厚を薄くできるので、敷地の有効利用がはかれる。
- (2) 地上で製作した PC 板を用いるため、品質がより一層優れており、表面の平滑な地中壁ができる。
- (3) 埋立地や軟弱地盤などの崩壊しやすい地盤に対し

ても能率よく、より高い精度の地中壁を施工できる。

(4) 自硬性安定液の硬化体は良質な地盤と同等以上の強度を有し、止水性のより高い地中壁を施工できる。

(5) 廃棄泥水がないため泥水処理が不要となる。

以上のような特長を持っている PC 地中壁を、OWS-SOLETANCHE 工法の開発を通じて得た、掘削とその管理技術の蓄積を生かし、昭和50年に最初の施工をした。それ以来、PC 地中壁の施工技術の開発と改善を進めると共に、地下本体構造に利用するための研究開発を、昭和53年以来実施し実験結果などを報告してきた^{1)~10)}。

これらの結果に基づいて、(財)日本建築センター基礎評定委員会に、『プレキャスト鉄筋コンクリート地中壁による地下構造体 (PRECAST BASEMENT)』として評定申請し、その評定 (BCJ-F255) を昭和56年11月14日に取得した。それ以後も、PB の施工性とその品質管理技術を開発・改善する研究を進めてきた。本報告は、本開発研究のまとめとなるもので、PB の構築法、問題点とその研究概要、構造性能に関する問題点とその研究結果、および設計概要をとりまとめて記述している。

2. PRECAST BASEMENT (PB) の構築法

2.1. 耐震構造の構築法

仮設利用で使用する名称		本体利用で使用する名称			
地中壁の名称 (通常使用される一般名称)	地中壁の施工法	構造体の総称	耐震構造		地中壁と本体との接合法
			壁の名称	単位エレメント相互の接合法	
プレキャスト鉄筋コンクリート地中壁 (PC地中壁)	OWS-SOLETANCHE工法	PRECAST BASEMENT	PB-M壁	PB-J工法	JOF-P工法
			PB-S壁	(接合しない)	
場所打ち鉄筋コンクリート地中壁 (場所打ち地中壁)		WALL FOUNDATION	キージョイント壁体	キージョイント工法	JOF工法
			スクリーン壁体	(接合しない)	

表-1 PB と WF で使用する名称

PB における建物地下外周の耐震構造としては、PC 板相互を鉛直接合する壁 (PB-M壁) と、鉛直接合しない壁 (PB-S壁) の2種類を採用している。

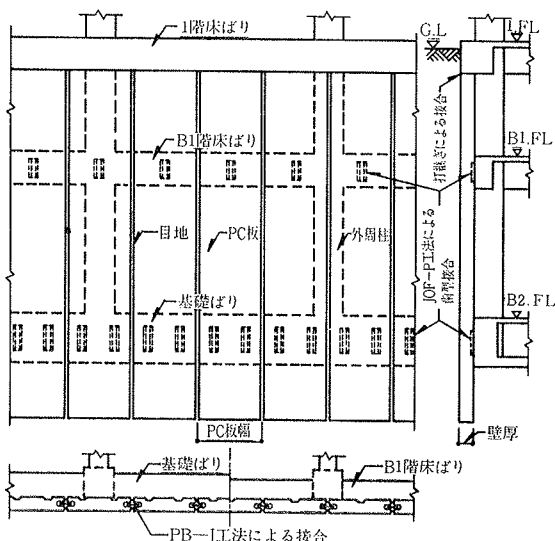


図-1 PB-M 壁の構築例

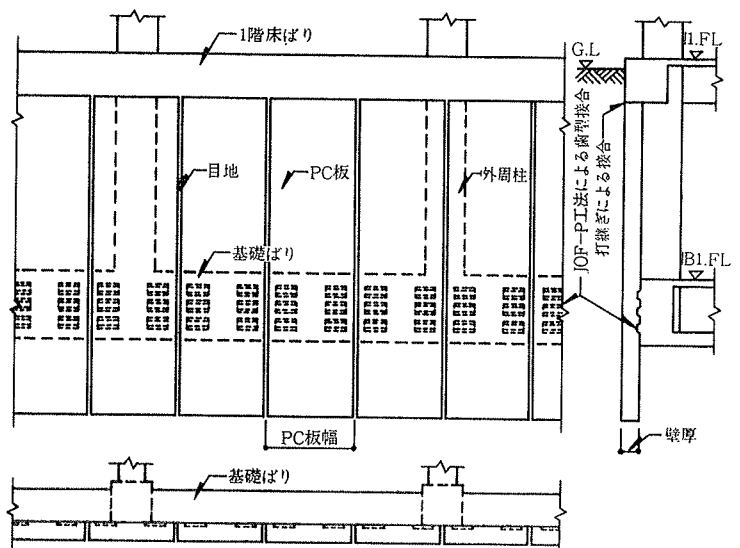


図-2 PB-S 壁の構築例

2.1.1. PC板を鉛直接合する壁 (PB-M 壁) PB-M 壁は図-1 に示すように、PC板相互の鉛直継手部を、2.2. に示す PB-J 工法で PC 地中壁の施工時に接合して PC 板を一体化し、根切り後に PC 板と地下室周りとを、2.3. に示す JOF-P 工法によって接合し、さらにその頭部に 1 階床ばりを打継いで構築するもので、地震時の応力を一体壁として負担する。

2.1.2. PC板の継手を鉛直接合しない壁 (PB-S 壁) PB-S 壁は図-2 に示すように、PC板相互の鉛直継手部を直接接合しないで、PC地中壁の頭部につなぎばり (1 階床ばり) を打継いでめぐらし、その地下室脚部で基礎ばりと JOF-P 工法によって接合して構築するもので、地震時の応力を連続矩形ラーメンを構成して負担する。なお、この PB-S 壁は WF におけるスクリーン壁体と比較して、壁が場所打ち地中壁に対して PC 板で

ある以外は全く同じである。

2.2. PC板の鉛直接合法 (PB-J 工法)

PB-M 壁における PC 板相互の鉛直継手部の接合法としては、図-3 に示す PB-J 工法を採用する。この工法は、PC 板の両端に相対して設けた鉛直方向の切欠き部に、特殊加工した接合鋼板を挿入し、空隙部分に接合モルタルを充てんして、PC 地中壁の施工時に PC 板相互を一体化するものである。接合部の詳細は通常の場合、PC 板間の鉛直目地幅は 3 cm、端部が半円の切欠き部は 4 cm、その切欠き深さは 22 cm で、その端部隅角部に PC 板の割裂補強筋と幅止め筋を配筋している。また接合鋼板としては、PC 板間の鉛直目地部分以外に、交互に反対方向となる突起孔を設けた鋼板を使用する。

PB-J 工法の一般的な施工順序は、図-4 に示すように次の順序で施工する。

- ① 安定液を用いて地盤を掘削
- ② 両端に切欠き部を設けた一方の PC 板挿入
- ③ PC 板相互の接合スペースを確保する、十字型をした接合部養生金物を切欠き部をガイドに挿入
- ④ 接合部養生金物をガイドにして他方の PC 板を挿入した後、その面内方向の建ちを測定し、必要な場合にはオイルジャッキで建ちを矯正した後 PC 板を固定
- ⑤ 安定液が硬化し所定の強度に達した後、接合部養生金物を引抜き、空隙部分の PC 板面に付着した自硬性安定液の半硬化体を、高圧水を吹き付けて洗浄除去して、ポンプで水とともに地上に吸い上げ、特殊カメラで除去を確認
- ⑥ 切欠き部に接合鋼板を挿入した後、接合モルタルをグラウトポンプで充てん

2.3. PC板と本体との接合法 (JOF-P 工法)

PB における PC 板の側面での本体構造部材との接合法として、WF で開発した JOF 工法 (JOINT FORMING METHOD の略) を用いるが、接合面の歯型を形成させる施工方法が相違するため JOF-P 工法と呼ぶ

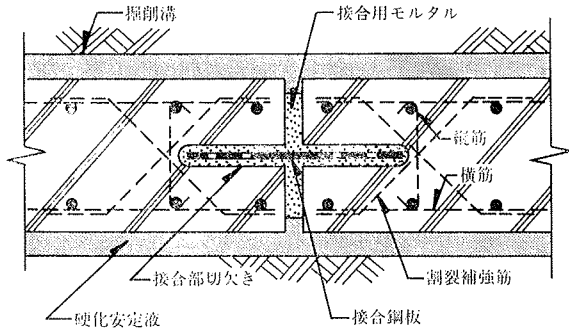


図-3 工法の接合詳細

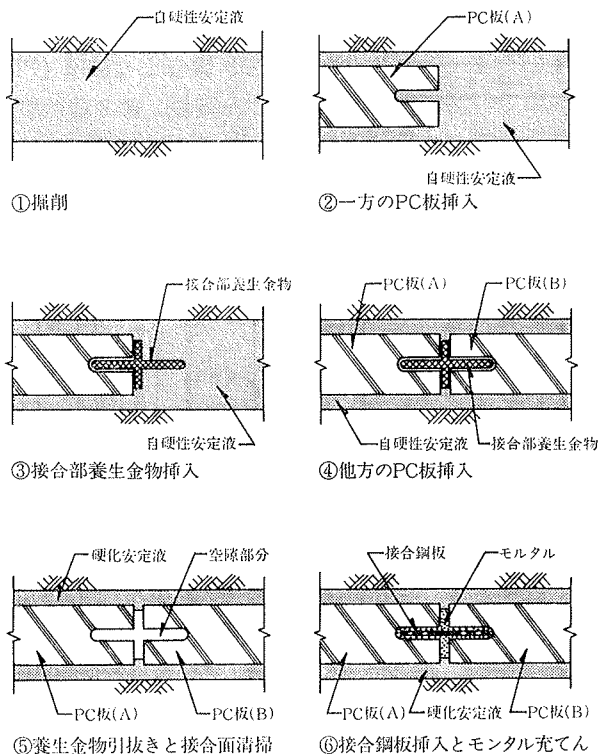


図-4 PB-J 工法の施工順序

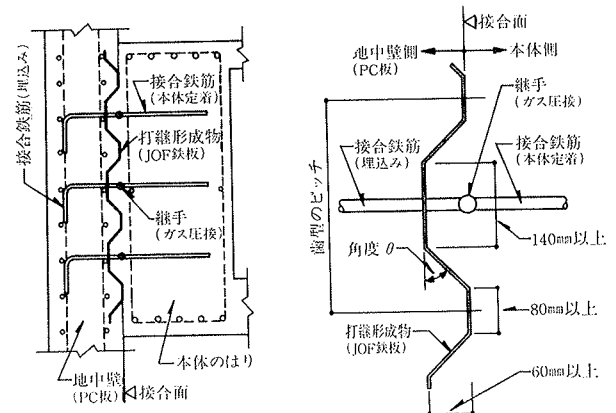


図-5 JOF-P 工法の施工例

こととしている。

JOF-P工法は図一5に示すように、PC板に設けたコンクリートの歯型と、PC板と本体構造部材とを結ぶ接合鉄筋とを用いて接合する方法である。この方法では、PC板を地上で製作する時に歯型を形成しており、地中壁のコンクリートを打設する時に形成するWFでのJOF工法と比較して、施工性の影響を受けない。

2.4. PRECAST BASEMENT (PB) の特長

前記の構築法でPBとして利用した場合には、1.序で述べたPC地中壁としての特長に次項が付加される。

(1) PC板の構造体利用によって、合理的な地下工事計画が可能となる。

(2) 設計応力の大小に応じて2種類の耐震架構を選択でき、経済的な構造設計が可能となる。

(3) PC板を鉛直接合するPB-M壁の耐震壁とする場合にはさらに次の特長がある。

(a) PC板の鉛直接合をPC地中壁工事と同時に地上から実施するので、根切り後のPC板の接合工事が不要である。

(b) PC板の鉛直接合をPC板の挿入とは別工程で施工でき、その施工と工程の管理が容易となる。

(c) 接合部に充てんしたモルタルによって、PC板の鉛直ジョイント部での止水性が完全となる。

2.5. PBを地下外壁に適用するための問題点

PC地中壁を前記の構築法によるPBとして、地下外壁に適用するための問題点は次の2項となる。

2.5.1. 施工上の問題点 PBの施工に関する検討事項としては、次の4項目に分類できる。

(1) 地盤の掘削: KELLY掘削機, KELLY-S型掘削機, CIS型掘削機, およびHYDROFRAISE掘削機による地盤の掘削に関する施工技術

(2) 掘削に使用する安定液: ①通常の安定液(ポリマー泥水またはベントナイト泥水)と, ②自硬性安定液の調合とその管理方法

(3) PC地中壁の構築: ①PC板の製作基準の設定と②PC板の挿入設置法とその管理方法

(4) PBの構築: ①PB-J工法によるPC板の鉛直接合と, ②JOF-P工法によるPC板と本体との接合, 両工法の施工法とその管理方法

PB工事の施工計画と実施を(株)大林組の特殊工法部が行なうこととし、その社内体制を確立すると共に、前記問題点について施工技術の開発・改善に努めてきた。PBの施工に当たっては(株)大林組で作成した、前記の問題点(1)、(2)および(3)に関する『PC地中壁工事施工規準』と同(4)に関する『PRECAST BASEMENT工事施工規準』の2規準に基づいて、『PRECAST BASEMENT

工事施工要領書』を作成して行なう。また、PBに使用するPC板は工場または現場で製作するものとし、現場で製作する場合は、(株)大林組で作成した『PC板の現場製作規準』に基づいて製作することとしている。

2.5.2. 構造性能上の問題点 前記の構築法でPC地中壁を、PBとして地下本体構造に使用するためには、構造性能として次の項目を検討しなければならない。

(1) PB-J工法によるPC板鉛直接合部とPB-M壁の構造性能

(2) PB-S壁の構造性能

(3) JOF-P工法による接合部の構造性能

(4) 土圧および水圧を想定した面外力による面内耐力への影響

(5) PB-J工法の施工性によるPB-M壁の面内耐力への影響

これらの項目の内、(2)PB-S壁と(3)JOF-P工法は、WFにおけるスクリーン壁体とJOF工法と比較して、前者の構成部材がPC板であるのに対して、後者が場所打ち地中壁である点が相違するのみである。従って本研究では、(4)を追加すると共に(1)と(5)について主として検討している。各検討項目の研究結果を要約して次章以下で述べる。

3. PB-J工法の接合部とPB-M壁の構造性能

3.1. 検討概要

PB-J工法によるPC板鉛直接合部、およびこの接合部を組込んだPB-M壁の構造性能を、まずPC地中壁構築時の施工性の影響を受けない、地上で製作した験試体による下記の実験を実施して検討した。なお、PC地中壁の施工性による影響は7.で検討する。

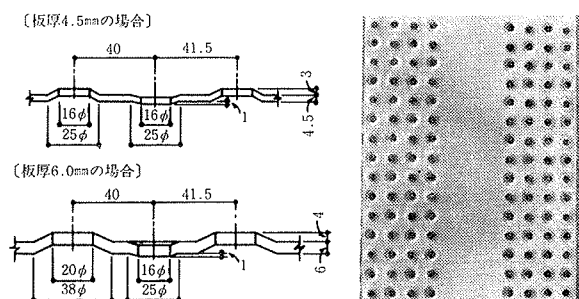
(1) 接合鋼板の素材を検討する引抜き実験

(2) 接合部詳細を検討する接合部の曲げせん断実験

(3) PB-J工法による接合部のせん断耐力を検討する実大接合部の曲げせん断実験

(4) PB-J工法による架構の構造性能を検討する実大構面試験体の水平加力実験

(5) 鉛直接合部のPC板配筋法を検討する比較実験



図一6 PB-J工法に用いる接合鋼板

3.2. 接合鋼板の引抜き実験

3.2.1. 目的と試験概要 接合鋼板と接合モルタルとの付着耐力性状を検討すると共に、接合鋼板の素材を決定することを目的として、①接合鋼板の種類、②接合モルタルの強度、および③モルタルの施工法、の3種類を試験パラメータとする、合計10体の接合鋼板の引抜き試験を行なった¹⁾。

3.2.2. まとめ この実験結果による付着耐力性状とその加工性などを合せ考慮して、図一6に示すような突起孔を付けて加工した鋼板を、PB-J工法に用いる接合鋼板として採用した。

3.3. 接合部の曲げせん断実験

3.3.1. 目的と実験概要 接合部の補強法とそのせん断耐力を比較検討すると共に、接合部の詳細を決定することを目的として、5種類の接合部詳細を比較パラメータとする、合計9体の接合部に関する逆対称加力形式での曲げせん断実験を行なった¹⁾。

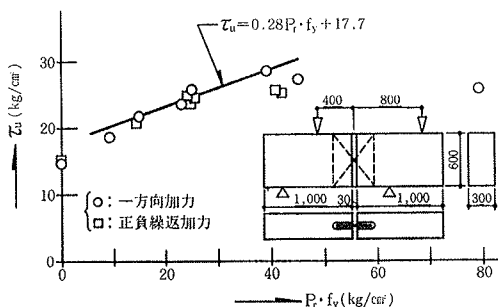
3.3.2. まとめ 「PC板と接合モルタルとの界面にシャーコネクターを挿入するか、あるいは切欠き部に開き止めを挿入するなどの方法は、接合部のせん断耐力を高めるのに効果があるが、図一6に示した接合鋼板を用い、適量の割裂補強筋を接合部切欠き隅角部に挿入することで、地震時の水平力を負担する地下外壁としてのせん断耐力を発揮できる。」ことが実験結果からいえた。

これらの結果から、PB-J工法による接合部詳細を図一3に示したように決定した。

3.4. PB-J工法による接合部の曲げせん断実験

3.4.1. 目的と実験概要 PB-J工法による接合部のせん断耐力性状と、その接合部詳細の検討を目的として、逆対称加力形式による実大接合部の曲げせん断実験を行なった²⁾。試験体は①割裂補強筋の補強筋量、②荷重の加え方(一方または正負の繰返し)、③切欠き部の深さ、④実験でのせん断スパン比、⑤PC板の板厚、および⑥接合鋼板の板厚、などを比較パラメータとする合計16体である。

3.4.2. まとめ この実験結果およびその後追



図一7 PB-J工法による接合部の強度

加して行なった、実大接合部の曲げせん断実験の結果⁴⁾から次の事がいえた。

(1) PC板の板厚30cm、接合鋼板の板厚6mm、切欠き部の深さ22cmで、PC板相互の目地部に接合モルタルを充てんしていない場合について、PC板の平均せん断応力度でみた、接合部の強度と割裂補強筋量との関係は図一7となり、次式で表される。

$$\tau_u = 0.28 p_r \cdot f_y + 17.7 \quad \dots\dots\dots(1)$$

ここに、

τ_u : PC板の平均せん断応力度 (kg/cm²)

p_r : 割裂補強筋比 (小数単位) = $A_r / B \cdot X$

A_r : 割裂補強筋断面積 (cm²)

B : PC板の板厚 (cm)

X : 割裂補強筋の間隔 (cm)

f_y : 割裂補強筋の降伏応力度 (kg/cm²)

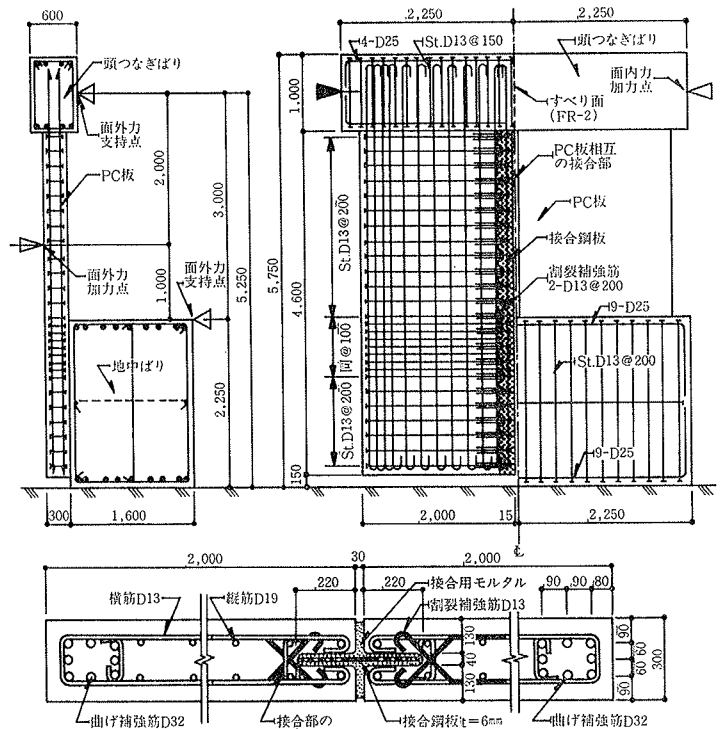
(2) PC板の板厚Bが40cmの場合は、式(1)で強度を推定できるが、B=50cmの場合には式(1)で求めた強度よりもやや低くなる。

(3) 切欠き部の深さとしては、接合鋼板の突起孔の間隔も考慮すると、22cm程度が適切と考えられる。

(4) 接合鋼板の板厚としては、通常の場合、6mmを使用するのがよいと考えられる。

3.5. PB-M壁による実大構面試験体の水平加力実験

3.5.1. 目的と実験概要 PB-M壁としての構造性能、およびPB-J工法によるPC板の鉛直接合法の有効



図一8 実大構面試験体の形状・寸法と配筋

性を検討することを目的として、PB-J工法によってPC板2枚を地上で接合し、実際の建物と同じ構築順序で製作した実大構面試験体に、実際と同じ応力状態での水平力を加力する実験を行なった³⁾。

試験体の形状・寸法と配筋を図-8に示す。壁厚30cmで2m×4.6mのPC板2枚を鉛直接合した壁で、壁全体のせん断スパン比は約1であるが、曲げ耐力を高めるためにPC板の端部に多くの曲げ補強筋(8-D32)を配筋している。PB-J工法による接合部は、板厚6mmの接合鋼板を使用し、割裂補強筋としてD13を20cm間隔で両面に配筋している。また、接合モルタルをPC板相互の目地部分にも充てんしている。

試験体はFR-1とFR-2の2体で、試験体の断面・寸法と配筋は同じであるが、FR-2では、頭つなぎばりが鉛直方向のせん断力を負担しないように、PC板鉛直接合部の中心線上の頭つなぎばり断面内に、すべり面(圧縮力は伝達)を挿入している。PB-J工法による接合部の割裂補強筋比は0.42%で、JOF-P工法による接合部の接合鉄筋比は0.65%である。

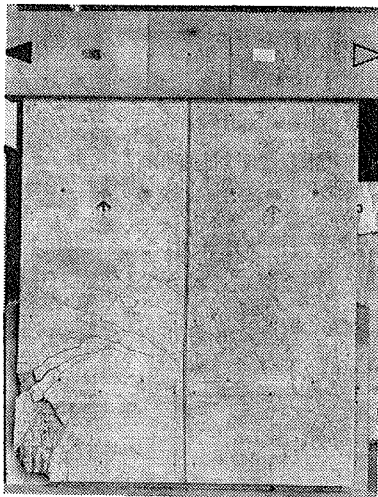


写真-1 ひび割れ発生と破壊状況

3.5.2. 実験結果とまとめ

FR-1の実験結果について、ひび割れ発生と破壊状況を写真-1に、壁に作用する水平せん断力 Q と壁の加力心での相対変位 δ との関係を図-9に、また、正荷重時の包絡線で比較した壁

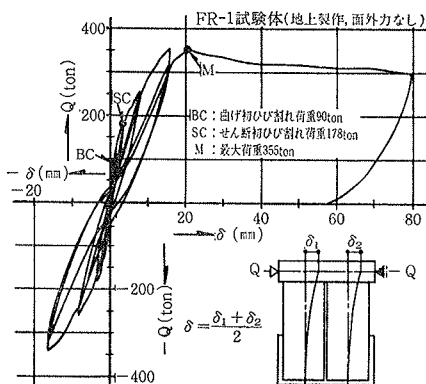


図-9 荷重～変位曲線の例

の平均せん断応力度 τ_w ($=Q/A_w$, A_w : 壁の全断面積と δ との関係)を、6.3.と7.2.で述べる実験結果と共に図-10にそれぞれ示す。FR-2の実験結果も同等で顕著な差はなかった。

以上の結果から、PB-J工法によって一体化されたPB-M壁は、一体壁としての強度と変位性状を示し、地下外周耐震壁として十分な構造性能を有していることがわかった。

3.6. 鉛直接合部PC板配筋法の比較実験

3.6.1. 目的と実験概要 PC板切欠き部の配筋法を簡略化して、PC板製作時の施工性を改善することを目的として、PC板横筋の鉛直接合部端でのフックの有無による、壁の構造性能への影響について検討する実験を行なった⁵⁾。試験体は壁厚30cmで1m×1.85mのPC板2枚を鉛直接合し、その頭部に加力スラブを、また、その脚部に基礎スラブを、それぞれ配して接合した壁体で、①PC板横筋端でのフックがないもの、②同フックがあるもの、および③比較のための鉛直接合部がない一体壁の3体である。加力は基礎スラブを試験床に固定して片持ち形式で行なった。

3.6.2. まとめ PC板横筋の鉛直接合部端でのフックの有無による、壁の構造性能への顕著な影響はなく、また、鉛直接合壁体の構造性能は通常の一体壁と同等であることが分かった。この結果から、PC板切欠き部の配筋詳細として、図-3に示したものを採用した。

4. PB-S壁の構造性能

PBにおけるPB-S壁は、WFにおけるスクリーン壁体と比較して、場所打ち地中壁がPC板となった点が相違するのみである。従って、PB-S壁の構造性能はスクリーン壁体と同等となり、その構造設計は『WALL FOUNDATION 構造設計指針』におけるスクリーン壁体と同じように行なう。スクリーン壁体の構造性能について

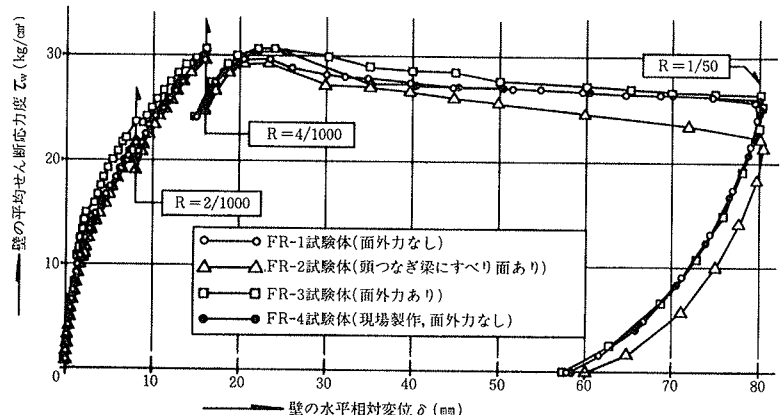


図-10 包絡線でみた荷重と変位との関係の比較

は、各種の調査・研究を行なって報告している⁶⁾ので、本報告では省略する。

5. JOF-P 工法による接合部の構造性能

5.1. JOF-P 工法による接合部の耐力機構

JOF-P 工法による接合部がせん断力を受けたときの、歯型と応力方向との関係は、歯型の形成方向が縦型（歯型が深さ方向となる形式）、および横型（縦型を90度回転させ、歯型が水平方向となる形式）の両方とも、図-11に示すように、せん断力が歯型と直行方向となる場合と、歯型と並行方向となる場合の2種類となる。そして、その耐力発揮機構としては次の3種類となる。

- ①接合面でのコンクリートの歯型のせん断耐力で強度を発揮するもの（以下歯型効果と呼ぶ）
- ②接合面の摩擦力と接合鉄筋のダボ効果で強度を発揮するもの（以下鉄筋効果と呼ぶ）
- ③ 歯型端小口の支圧耐力で強度を発揮するもの（以下支圧効果と呼ぶ）

5.2. JOF-P 工法による接合部のせん断耐力算定式

5.2.1. 実験概要 JOF-P 工法による接合部における、①歯型、②鉄筋、および③支圧の3種類各効果のせん断耐力を検討するために、地上で製作した実大試験体による接合部の直接せん断実験を行なった⁷⁾。試験体は、①歯型効果検討用5体、②鉄筋効果検討用4体、および

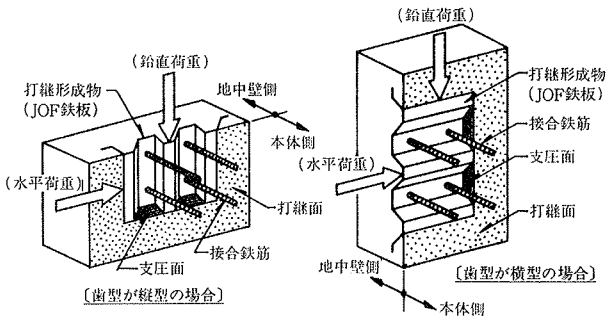


図-11 JOF-P 工法による接合部の耐力機構

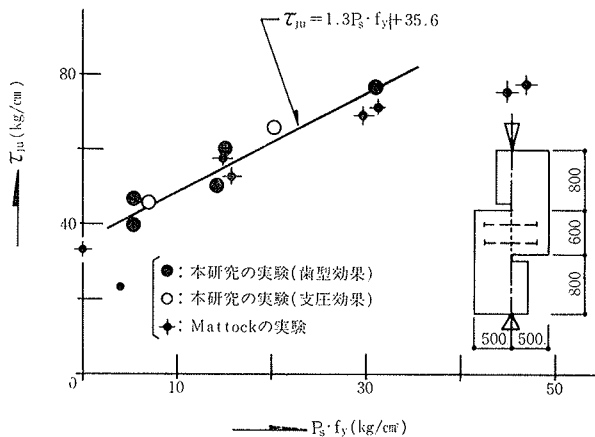


図-12 歯型効果での $\tau_{ju} \sim p_s \cdot f_y$

②と③の組合せ検討用4体の合計13体である。

本実験結果によって、接合部のせん断耐力を算定する実験式を求めているが、次の2点を考慮して実験結果によるせん断耐力を評価している。

(a) 歯型効果によるコッターのせん断耐力を、通常の打継ぎと同じく $p_s \cdot f_y$ の関数とする。

(b) 鉄筋効果によるせん断耐力を、歯型効果との累加を意図し、接合面での相対変位を考慮して決定する。

5.2.2. 歯型効果で耐力を発揮する場合の強度 歯型と直交方向に加力した場合の最大荷重 Q_{ju} を、せん断面における歯型のコンクリート断面積 A_1 で割った、平均せん断応力度 τ_{ju} と $p_s \cdot f_y$ との関係を図-12に示す。

今 τ_{ju} が $p_s \cdot f_y$ に一次比例すると仮定して回帰直線を求めると次式となる。

$$\left. \begin{aligned} \tau_{ju} &= Q_{ju} / (n \cdot A_1) \quad [\text{kg}] \\ \tau_{ju} &= 1.3p_s \cdot f_y + 35.6 \quad [\text{kg/cm}^2] \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(2)$$

ここに、

τ_{ju} : Q_{ju} 時の歯型平均せん断応力度 (kg/cm²)

Q_{ju} : 歯型効果による最大耐力 (kg)

n : 歯型の数

A_1 : 歯型1個のせん断面でのコンクリート断面積 (cm²)

p_s : 接合鉄筋比 (小数単位) = A_s / A_2

A_s : 歯型1個の接合鉄筋全断面積 (cm²)

A_2 : 歯型1個の有効面積 (cm²)

f_y : 接合鉄筋の降伏点 (kg/cm²)

5.2.3. 鉄筋効果で耐力を発揮する場合の強度 歯型と並行方向に応力を受けて鉄筋効果のみで耐力を発揮する場合、変位から求めたせん断降伏荷重 Q_{jy} を接合面見付け面積 A_j で割った、平均せん断応力度 τ_{jy} と $p_s \cdot f_y$ との関係を図-13に示す。

今 τ_{jy} が $p_s \cdot f_y$ に一次比例すると仮定して回帰直線を求めると次式となる。

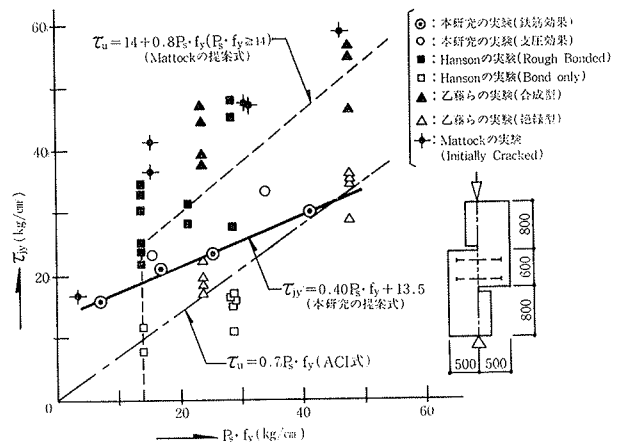


図-13 鉄筋効果での $\tau_{jy} \sim p_s \cdot f_y$

$$\left. \begin{aligned} \tau_{Jy} &= Q_{Jy} / (n \cdot A_2) \quad [\text{kg}] \\ \tau_{Jy} &= 0.40 p_s \cdot f_y + 13.5 \quad [\text{kg/cm}^2] \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(3)$$

ここに、

τ_{Jy} : Q_{Jy} 時の平均せん断応力度 (kg/cm²)

Q_{Jy} : 鉄筋効果によるせん断耐力 (kg)

p_s, f_y, n, A_1 : 前記

5.2.4. 支圧効果で耐力を発揮する場合の強度 菌型と並行方向に応力を受けて支圧効果のみで耐力を発揮する場合の強度は、コンクリート製シャキーの直接せん断実験の結果から、次式で算定することとしている⁸⁾。

$$Q_{Jb} = 2.0 \cdot F_c \cdot A_3 \quad \dots\dots\dots(4)$$

ここに、

Q_{Jb} : 支圧部が圧壊するときのせん断耐力 (kg)

F_c : 圧壊側コンクリートの圧縮強度 (kg/cm²)

A_3 : 支圧を受ける面積 (cm²)

5.3. PB-S 壁における偏心接合部の強度

PB-S 壁は WF のスクリーン壁体と同じく、架構全体を線材に置換して構成される、連続矩形ラーメンの架構で、地震時の面内水平力を負担するので、JOF-P 工法による PC 板の側面での接合面に、水平せん断力と面内ねじりモーメントが作用する。このような応力を受ける接合部の構造性能については、合計3体の実物実大試験体による実験を WF に関して実施した⁹⁾。

この実験結果から、接合部の構造性能としては良好であり、接合部の面内ねじりモーメント耐力は、前記の提案式(2)と(3)を用いて推定できることが分かった。

6. 土・水圧の面外荷重による面内耐力への影響

6.1. 検討概要

PB による地下外周壁は通常の壁と同じように、土圧および水圧による側圧(面外力)と、地震時水平力(面内力)の両応力を同時に負担する。通常の地下外壁においては、面外せん断応力と面内せん断応力は、通常別々に断面算定の検討を行ない、組合せ応力の効果は安全率の範囲内でカバーされるものとされている〔日本建築学会の建築基礎構造設計規準・同解説 p. 395 参照〕。しかし PB-M 壁と PB-S 壁の耐震架構では、通常の二方向板ではなくて、一方向板として設計することになるために、応力状態が厳しくなり、面外力と面内力による二軸応力の影響を問題とされる場合がある。そこで、次の2種類の二軸曲げせん断実験を行なって検討した。

6.2. PC 板の二軸曲げせん断実験

6.2.1. 実験概要 PC 板の面外方向に静定架構で、所定の面外力(曲げとせん断)を加え、この面外力を一定に保持しながら、面内力(曲げとせん断)を正負また

は一方向に加える、PC 板合計12体の二軸曲げせん断実験を行ない、同時に行なった面内力のみを加える合計5体の実験結果と比較検討した⁹⁾。

試験体は、壁厚 15 cm × 壁全せい 37.5 cm の矩形断面で、面外力の有無とその大きさなどを比較検討項目としているが、面外力の大きさとしては、一定とした面外力による危険断面での応力を、日本建築学会の鉄筋コンクリート構造計算規準(以下学会 RC 規準と呼ぶ)による、④長期許容面外せん断応力度(7 kg/cm²)、⑥長期許容面外曲げモーメント、および③短期許容面外曲げモーメントの3種類に相当させている。

6.2.2. 実験結果 面内終局強度と一定とした面外力との相関関係を、せん断強度と曲げ強度に分けて図-14に示す。この結果から次の事がいえる。

(1) 面外力が面外強度の約50%未満(③と⑥)の場合 面内に曲げ破壊する試験体の面内強度は、面外力が大きくなるに従って低下し、その低下の割合は二軸曲げ理論で求めた計算値と近似する。

面内にせん断破壊する試験体の面内強度は、面外力の影響を受けず低下しない。

(2) 面外力が面外強度の約50%以上(④)の場合

面内力のみを加えた試験体の破壊モードと相違して面外にせん断破壊し、面内強度と変形能が大きく低下する。

なお、以上の実験結果による耐力と破壊モードは、二軸曲げ解析で求めた中立軸位置のみに着目して、二軸曲げせん断強度を算定する方法に基づく、二軸曲げせん断相関曲線で表せることを報告している¹⁰⁾。

6.3. 実大 PB-M 壁の二軸曲げせん断実験

6.3.1. 実験概要 土・水圧を想定した一定な面外力による、PB-M 壁の面内耐力への影響を検討することを目的として、面外方向に一定な荷重を加え、この面外力を一定に保持しながら、面内水平力を正負繰返しで加える二軸曲げせん断実験を行ない、面内力のみを加えた試験体(3.5.のFR-1)の結果と比較検討した³⁾。試験体

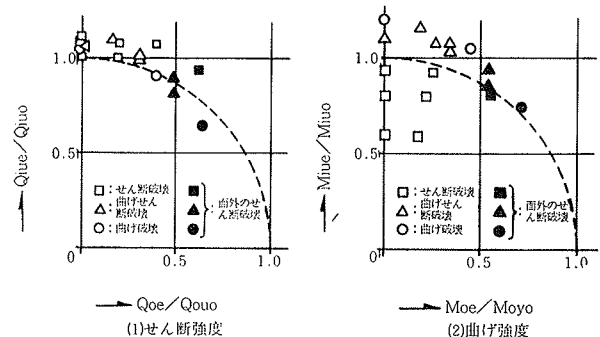


図-14 二軸曲げせん断強度の無次元化相関曲線

(記号 FR-3) は、3.5. で述べた実大構面の水平加力実験と、全く同じ形状・寸法と配筋で、加えた面外荷重による曲げモーメントとせん断応力度は、学会 RC 規準での長期許容値に相当させている。

6.3.2. 実験結果とまとめ ひび割れ発生と破壊状況を FR-1 と比較すると、面外力によるひび割れを除けば顕著な差はなかった。図-10に示した FR-3 の荷重と変位との関係を FR-1 と比較すると、全体的に面外力がある FR-3 の剛性がやや高いが、履歴特性は良好で全体の変位性状としては顕著な差はないといえる。また、せん断初ひび割れと最大荷重も FR-1 と同等であった。

この結果から、一定な面外力による PC 板の応力が、学会 RC 規準での、長期許容面外の曲げモーメントとせん断応力度に相当する場合、PB-M 壁の面内せん断耐力は面外荷重によって影響されないといえる。

6.4. 面外力による面内耐力への影響のまとめ

一定な面外力による PC 板の応力が、学会 RC 規準での長期許容面外曲げまたはせん断応力に相当する場合、PB の設計について次のことがいえる。

- (1) 曲げモーメントに対する断面算定は、面外と面内の曲げモーメントによる組合せ応力の効果を考慮して、各曲げ補強筋を独立して配筋する。
- (2) せん断力に対する断面算定は、面外と面内のせん断応力による組合せ応力の効果を考慮しないで、面外と面内両方向の断面算定を別々に行なってよい。

7. PB-M 壁の施工性による面内耐力への影響

7.1. 検討概要

PB-J 工法は、2.2. で説明した施工順序となるために、その施工性による PB-M 壁の構造性能への影響が問題となる。そこで、次の2項を実施して検討した。

(1) 次の2現場での試験工事

- ①(株)大林組技術研究所内での試験工事 I
- ②某新築工事での試験工事 II

(2) 試験工事 I で製作した試験体の水平加力実験

(1)は PC 地中壁の構築法と PB-J 工法の施工法とその管理方法の検討を、また、(2)は PB-J 工法による PB-M 壁の構造性能への影響の検討を、それぞれ目的としているが、ここでは(2)の結果を述べる。

7.2. 現場製作した実物実大構面試験体の水平加力実験

7.2.1. 実験概要 PB-J 工法による PB-M 壁の構造性能への影響を検討することを目的として、3.5. で述べた実大構面の水平加力実験と、全く同じ形状・寸法と配筋の試験体(記号 FR-4)による、水平加力実験を行ない、面内力のみを加えた試験体(3.5. の FR-1)と比較検討した³⁾。

7.2.2. 実験結果とまとめ ひび割れ発生と破壊状況を FR-1 と比較すると顕著な差はなかった。FR-4 の履歴特性は良好で、図-10に荷重と変位との関係を示したが、FR-1 と比較して全体の変位性状としては顕著な差はなかった。また、せん断初ひび割れと最大荷重も FR-1 と同等であった。

この結果から、実際の現場で PB-J 工法で製作した試験体の破壊経過、変位性状および強度は、地上製作のものと同様であり、PB-J 工法の施工法による PB-M 壁の構造性能への影響はないといえる。

8. PRECAST BASEMENT (PB) の設計概要

8.1. 概要

PB の設計は(株)大林組で作成した『PRECAST BASEMENT 構造設計指針』に基づいて行なう。この指針は(財)日本建築センター基礎評定委員会に、『プレキャスト鉄筋コンクリート地中壁による地下構造体(PRECAST BASEMENT)』として性能評定を申請し、昭和56年11月14日に取得した評定書(BCJ-F255)に従うと共に、学会 RC 規準に準拠して作成している。

PB の構造機能は次の2種類である。

- ①土圧および水圧による荷重の負担
- ②地震などによる面内および面外方向の荷重の負担

PB の設計には、これらの機能を単独または組合せて用いるが、2. で述べた構築法に従って構造計画を行なう。また、地下耐震壁は建物の規模と設計応力の大小に応じて、2.1. で述べた PB-M 壁または PB-S 壁として計画する。以下 PB の設計に関する主要な点を述べる。

8.2. 構造計画

8.2.1. 敷地境界線と PC 板との最小必要距離 敷地境界または隣接の障害物から PC 板の外表面までの最小必要距離は、図-15に示すように、20 cm を標準とする。

8.2.2. PC 板と本体構造との相対配置 本体のはりおよび柱の内面線は、PC 板内面より 30 mm の位置とし、PC と柱との相対配置は図-16を標準とする。

8.2.3. PC 板の寸法 PC 板厚さは、250, 300, 350, 400 mm を、幅(割付け幅)は 2,000 mm を、PC 板の最大長さは 15 m をそれぞれ標準とする。なお、厚さ・幅および長さは仮設時の条件も検討の上選択する。

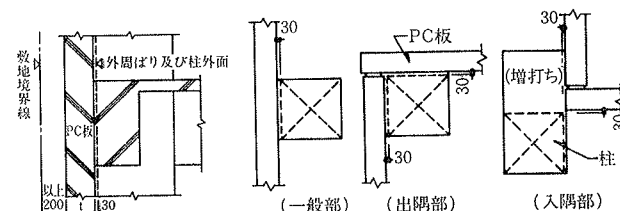


図-15 境界との距離

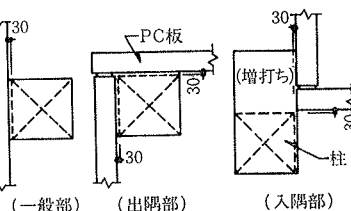


図-16 PC板と柱との相対配置

8.2.4. PC板の割付け PC板の割付けは、原則として標準寸法を使用するものとし、数枚の標準外寸法のPC板により寸法を調整する。

8.2.5. PC板と本体構造との接合計画 PBの目的とする機能に応じ、PC板と本体構造の各部とを接合する。PC板頂部では、打継いだ1階床ばりにPC板主筋を定着して接合する。PC板の側面では、2.3.で述べたJOF-P工法で構造計画に基づいて接合する。

8.3. 設計に用いる許容応力度と許容耐力

8.3.1. PC板の許容応力度 PC板に使用する鉄筋コンクリート材料の、定数および許容応力度は学会RC規準による。

8.3.2. PC板鉛直接合部の許容耐力 PB-J工法による、PC板相互の鉛直接合部の許容耐力としては、3.4.で述べた接合部の曲げせん断実験の結果から求めた、接合部の強度を推定する式(1)に基づいて、短期の安全率を2として求めた許容耐力式を用いる。

8.3.3. PC板と本体との接合部の許容耐力 JOF-P工法による、PC板と本体構造との接合部の許容耐力としては、5.2.で述べた歯型、鉄筋および支圧の3種類の耐力発揮機構に対する、接合部の直接せん断実験の結果から求めた、接合部の強度を推定する式(2)、式(3)および式(4)に基づいて、長期の安全率を3として求めた許容耐力式を用いる。

8.4. 応力の算定

8.4.1. 面外荷重 土圧および水圧等面外方向の荷重に対しては一方向板とし、本体構造の外周床によって支持された、深さ方向の連続ばりとして応力を算定する。

8.4.2. 水平荷重 地震などによる面内方向の荷重に対しては、まず、PB-M壁のPC板相互は一体とし、本体構造の外周ばりに接合された、水平方向も連続した板として応力を算定する。一方、PB-S壁のPC板相互は不連続で応力の伝達はないものとし、5.3.で述べたように、線材に置換した連続矩形ラーメンとして応力を算定する。

8.5. 断面の算定

8.5.1. 面外応力 面外曲げモーメントに対する断面算定は、学会RC規準14条(はり)第3項による。

8.5.2. 面内応力 PB-M壁の短期許容せん断力は、①PC板鉛直接合部の許容耐力(8.3.2.)から定まる短期許容せん断力と、②PC板の強度から定まる短期許容せん断力、の何れか小さい方の値とする。一方、PB-S壁は、面内曲げモーメントに対する断面算定は、学会RC規準14条(はり)第3項に、また、短期許容せん断力は学会RC規準16条(はりおよび柱のせん断補強)第2項に、それぞれによる。

9. 結 び

OWS-SOLETANCHE工法を山止め壁として構築されるPC地中壁を本体構造に接合し、土圧および水圧と地震などによる荷重を負担させるPRECAST BASEMENT(地下構造体)に関する開発研究のまとめとして、PRECAST BASEMENTの構築法、問題点とその研究概要、構造性能に関する調査・研究結果、および設計概要を述べた。

なお、本開発研究は技術研究所の研究課題として、技術開発専門委員会の委員各位と、特殊工法部、設計第三部、建築技術部などの関係各位の協力により実施されたものである。

参考文献

- 1) 菊池, 武田, 小畠: PC板による山留壁の構造体利用に関する研究(その1)—PC板相互の面内接合法の検討一, 大林組技術研究所報, No. 19, (1979), pp. 7~12
- 2) 菊池, 武田, 小畠: 同題目(その2)—接合部の曲げせん断実験一, 同所報, No. 22, (1981), pp. 65~69
- 3) 菊池, 武田, 小畠: 同題目(その3)—実大構面試験体の水平加力実験一, 同所報, No. 24, (1982), pp. 24~31
- 4) 菊池, 武田, 小畠: 同題目(その4)—PB-J工法によるPC板鉛直接合部の曲げせん断実験一, 同所報, No. 25, (1982), pp. 52~56
- 5) 武田, 小畠, 菊池: 鉛直接合したPC板の地下外壁への適用に関する実験的研究(その3 鉛直接合部のPC板配筋法に関する比較実験), 日本建築学会大会学術講演梗概集(東北), (昭和57.10), pp. 1695~1696
- 6) 武田, 小畠: 鉄筋コンクリート連続耐震壁に関する実験的研究(第6報)—強度と剛性の総括一, 大林組技術研究所報, No. 6, (1972), pp. 30~34
- 7) 小畠: 地中壁と本体との偏心接合部の設計に関する実験的研究, 第26回構造工学シンポジウム, (昭和55.2), pp. 41~50
- 8) 武田, 小畠: 地中連続壁の地下本体構造としての利用, コンクリート工学, Vol. 13, No. 2, 1975. 2, pp. 12~24
- 9) 小畠: 鉄筋コンクリート壁体の二軸曲げせん断強度に関する研究(第二報)二軸曲げせん断実験の概要, 日本建築学会論文報告集, 第285号, (昭和54.11), pp. 71~79
- 10) 小畠: 同題目(第二報)二軸曲げせん断強度の検討, 同 第296号, (昭和55.10), pp. 89~97