

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—

菊 地 利 武 小 畠 克 朗
武 田 寿 一

Structural Use of Retaining Walls of Precast Concrete Panels (Part 1)

—Tests on Connection in Plane—

Toshitake Kikuchi Yoshiro Kobatake
Toshikazu Takeda

Abstract

The object of this study is to make use of retaining walls of precast concrete panels as shear walls of structures. The method of transferring in plane shear between precast under consideration panels is to insert special steel plates such as anti-slip steel plates and checker plates into concrete at the edges of panels and to fix them by pre-grouting or post-grouting.

This report is concerned with pullout and shear-bending tests of model specimens constructed by the abovementioned method. The test results show high bond strengths of the steel plates and high shear transfer capabilities of these joints as long as adequate preparation of reinforcement is made.

概 要

この研究は、山留壁として構築される PC 板による地中連続壁を地下本体構造としても利用することを目的とし、主として地震時の水平力（面内力）を負担する地下外壁の面内せん断力に対する強度と剛性を実験によって検討するものである。

せん断伝達のための接合は、PC 材相互をグラウトモルタルを介して接合プレートによりつなぎ、面内接合法で行い構築された接合部について、接合プレート界面における付着耐力を検討するため引抜き試験、接合部のせん断耐力を検討するために逆対称形式での曲げせん断実験をそれぞれ行った。

実験結果から、この面内接合法で構築された PC 板相互の接合部について、アンチスリップ鋼板製の接合プレート界面の付着耐力および接合部のせん断耐力は十分であり、地震時の水平力を負担する地下外壁に使用できることが確認された。

1. 序

プレキャスト板（以下 PC 板と記す）による山留壁（文献 1）を参照）は、従来の場所打ちの地中連続壁と比較して、壁体の出来上り、止水性などの点で優れている。今後、比較的深度の浅い場合に、多く使用されその利点を発揮するものと思われる。そこで PC 板による山留壁に地下構造体として機能を付加することにより経済性（トータルコストの低減）が高まれば、利用範囲も拡大できると考えられる。

この研究は、以上に述べる技術開発の意義を踏まえ山留壁として構築される PC 板による地中連続壁を地下本

体構造として利用することを目的とし、主として地震時の水平力（面内力）を負担する地下外壁の面内せん断力に対する強度と剛性を実験によって検討するものである。

水平力を負担する地下構造体として利用する際に、重要な課題の一つは、十分な構造性能を有し PC 板相互を施工上無理なく確実につなぎ、止水板を兼ねる面内接合法を開発することである。

考案した面内接合法は、PC 板相互をグラウトモルタルを介して接合プレートによりつなぎ、せん断伝達を行うものである。その大きな特長は、実際の現場施工において、PC 板の建て込みと同じ時期に接合を完了するこ

とである。

この報告は、以上に述べた方法で構築された接合部について、接合プレート界面の付着耐力を検討するための引抜き試験、接合部のせん断耐力を検討するための逆対称加力形式での曲げせん断実験に関するもので、その結果を比較検討したものである。

2. 実験の概要

実験は、二つのシリーズで構成されており、各シリーズにおける検討内容を以下に示す。

シリーズ1の目的は、引抜き試験により接合プレートとグラウトモルタルとの界面における付着耐力を把握し、接合プレートの素材を決めることである。ここで決められた接合プレートがシリーズ2に使用される。

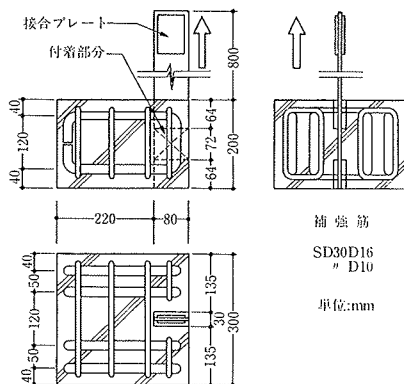
シリーズ2の目的は、逆対称加力形式での曲げせん断実験により接合部のせん断耐力を確認することである。

2.1. 試験体

シリーズ1および2に供する試験体一覧を表一1、2に、試験体の形状寸法および配筋を図一1、2に示す。

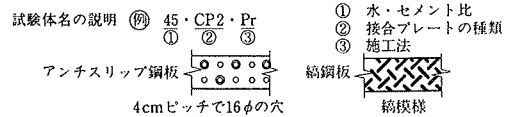
引抜き試験に供する試験体は、接合プレートの素材、グラウトモルタルの強度および施工法をパラメータとする合計10体で、試験部分の付着面積が 115.2 cm² のものである。

曲げせん断実験に供する試験体は、幅 B=30 cm、せい D=60 cm、主筋の引張鉄筋比 Pt=1.23%、せん断補強筋比 Pw=1.13% の二つの PC 材で構成される。即ち、一方の端部に接合スペースとなる切欠きを有する PC 材(切欠き深さ: 22 cm)と接合プレートの片側半分が埋め込まれた PC 材とがグラウトモルタルを介して切欠き部分で一体化されたものである。接合部に与える曲げの影響を出来るだけ小さくするために、また、接合プレート部分に直接加力することをさけて a/D を 0.67 とした。



図一1 シリーズ1の試験体の形状・寸法および配筋

試験体名	接合プレートの種類	グラウトモルタルの強度	施工法	
45・CP1・Pr	片面の鉄鋼板	W/C=45%のモルタル	プレグラウト(落し込み)	
45・CP1・Po			ポストグラウト(充てん)	
45・CP2・Pr	両面の鉄鋼板		プレグラウト	
45・CP2・Po			ポストグラウト	
45・AP・Pr	アンチスリップ鋼板		プレグラウト	
45・AP・Po			ポストグラウト	
50・AP・Pr			W/C=50%のモルタル	プレグラウト
50・AP・Po			W/C=50%のモルタル	ポストグラウト
40・AP・Pr	アンチスリップ鋼板		W/C=40%のモルタル	プレグラウト
40・AP・Po			W/C=40%のモルタル	プレグラウト
45・FP・Pr	平鋼板	W/C=45%のモルタル	プレグラウト	



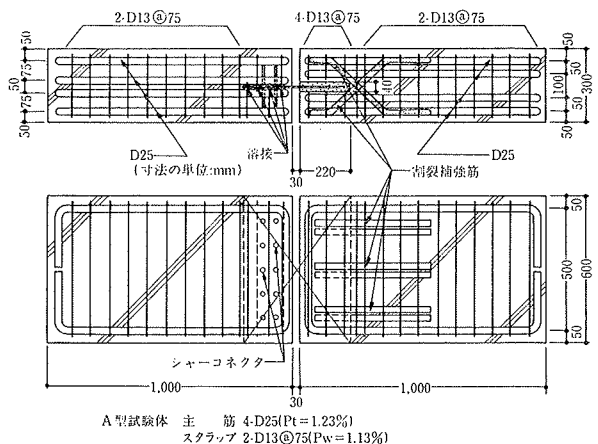
表一1 シリーズ1の試験体一覧

表一2の試験体一覧に示すように、試験体は、接合部切欠き隅角部に割裂補強筋のみを配筋し、他に補強策を講じないもの、接合部における面外方向の曲げ剛性を高める或いは面外方向の変形を拘束する開き止めを設けることによりせん断耐力の増大を計ったものおよびボルト或いは鉄筋のシャコネクタによるダボ効果でせん断耐力を発揮するものの合計9体である。

2.2. 試験体の製作

引抜き試験用の試験体は、施工法の違いによりその製作順序が異なった。即ち、プレグラウト(落し込み方式)によるものは、補強筋のセットされた型枠にグラウトモルタルを流し込み、次に接合プレートを落し込み所定の位置に固定し養生した。

一方、ポストグラウト(充てん方式)によるものは接合プレートを所定の位置に固定し、次にグラウトモルタルを流し込み養生した。



図二2 シリーズ2の試験体の形状・寸法および配筋

試験体名および試験体の特長	接合部の詳細図
<p>A 型試験体：右図 ▶ 最もシンプルな接合部詳細を有するもので、接合部切欠き隅角部に割裂補強筋が配筋されている。</p>	
<p>A-S 型試験体：右図 ▶ 面外方向の曲げ剛性を高めるために接合部に補強プレートが挿入されている。</p>	
<p>A-C 型試験体：右図 ▶ 面外方向の曲げ剛性を高めるために接合部のPCコンクリートがふかされ、割裂補強筋がA型のものと同様に配筋されている。</p>	
<p>A-T 型試験体 面外方向の変形を拘束する開止めが設けられている。</p>	
<p>A-T-D 型試験体：右図 ▶ A-T型とはほぼ同じであるが、グラウトモルタルとPC材との一体性を高めるシャーコネクタが設けられている。</p>	
<p>A-R 型試験体 せん断力を伝達する接合鉄筋がPC材から切欠き成形物を貫通して配筋されている。</p>	
<p>A-R-T 型試験体：右図 ▶ A-R型とはほぼ同じであるが、開止めが設けられている。</p>	
<p>F-B 型試験体：右図 ▶ シャーコネクタのクボ効果によりせん断力を発揮するもので、シャーコネクタとして全ネジボルトが接合プレートおよび切欠き成形物を貫通して固定されている。</p>	
<p>F-D 型試験体：右図 ▶ F-B型と同様のメカニズムでせん断力を発揮するものでシャーコネクタとして異形棒鋼が配筋されている。</p>	

表-2 シリーズ2の試験体一覧

曲げせん断実験用のものは、PC 板の製作と PC 材相互の接合の二つの工程を経て製作された。

PC 板の製作は平打ちで行った。そのため、コンクリートの打設に際しては、棒状バイブレータを用いて十分な締め固めを行い、接合部切欠きおよび接合プレート下ばに充てん不良の部分が生じないように注意した。

PC 板相互の接合は、テストピースの圧縮試験により、PC 材のコンクリート強度の発現状況を確認したうえで行った。まず、対になる PC 材を所定の位置にセットし、次にグラウトモルタルを流し込み養生した。

2.3. 使用材料

使用する鉄筋は、SD30D25, D22, D16, D13 及び D10 である。接合プレートは、SS41, t=6 mm のアンチスリップ鋼板、片面の縞鋼板、両面の縞鋼板および平鋼板である。なお、引抜き試験に用いる両面の縞鋼板は、片面の縞鋼板を溶接して貼り合せたものである。

グラウトモルタルは、2.5 mm 以下の川砂の早強モルタルである。その調合は、早強セメントと川砂の比率を重量比で 1:1 とし、シリーズ1では、水・セメント比が 50%, 45% および 40% で、シリーズ2では 45% である。

PC 材のコンクリートは、設計基準強度が $F_c=300 \text{ kg/cm}^2$ 、スランプ 18 cm の早強セメントを使用した普通コンクリートで生コンを使用した。なお、実験時の強度を、表-3, 4 に示した。

2.4. 加力および測定方法

シリーズ1およびシリーズ2の加力方法と測定方法を図-3, 4 に、シリーズ2の実験状況を写真-1 に示す。

加力は、シリーズ1では 200t 万能試験機、シリーズ2では 300t アムスラー型圧縮試験機を使用して行った。

測定は、シリーズ1では接合プレート自由端におけるすべり量を 1/1,000 mm 精度のダイヤルゲージで行った。シリーズ2では変位として接合部における相対すべり量を 1/200mm 精度の摺動抵抗型変位計で、また、ひずみとして主筋のひずみを W.S.G. で行った。

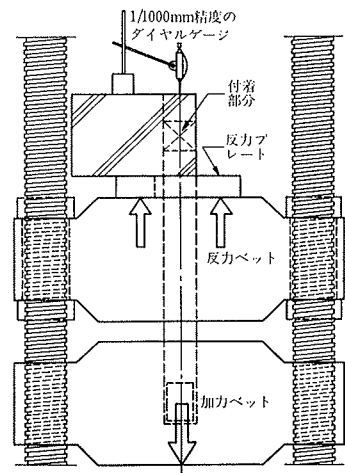


図-3 シリーズ1の加力および測定方法

3. 実験結果とその検討

3.1. シリーズ 1

試験結果をまとめて表-3に、平均付着応力度 τ_b (=荷重をプレートの付着面積で割った値) と接合プレート自由端のすべり量 δ との関係を図-5に示す。

$\tau_b \sim \delta$ 曲線を見ると、APはある荷重を境にしてすべり量が大きくなる傾向がみられ、CP 1およびCP 2は荷重が増大するとともにすべり量も漸進的に増加する。これは、APがグラウトモルタルのせん断抵抗と界面の摩擦抵抗とで耐力を発揮するのに対して、CP 1およびCP 2は、接合プレート界面の摩擦抵抗のみで耐力を発揮しており、この耐力機構の差によるものと思われる。

水・セメント比45%のものについて、接合プレート素材の違うものの τ_b をその平均値と比較すると、CP 1、CP 2およびAPの τ_b は、降伏荷重(急激にすべり量が

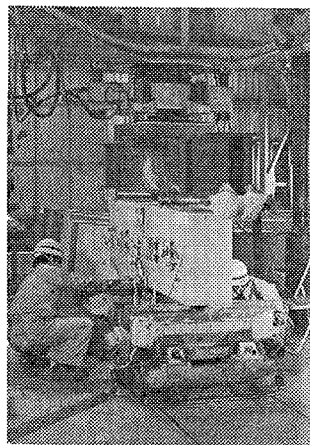


写真-1 シリーズ 2 の実験状況

増大する荷重、または、 $\delta=0.1$ mm のときの荷重と定義) のとき、それぞれ 26.1 kg/cm²、31.4 kg/cm² および 26.3 kg/cm²、最大荷重のとき 32.3 kg/cm²、52.0 kg/cm² および 35.0 kg/cm² であり CP 2 の耐力が他のものと比較して大きく、AP と CP 1 の耐力はほぼ同じ値を示した。FR は最大荷重のとき 10.1 kg/cm² であった。

グラウトモルタルの強度の違うものの τ_b

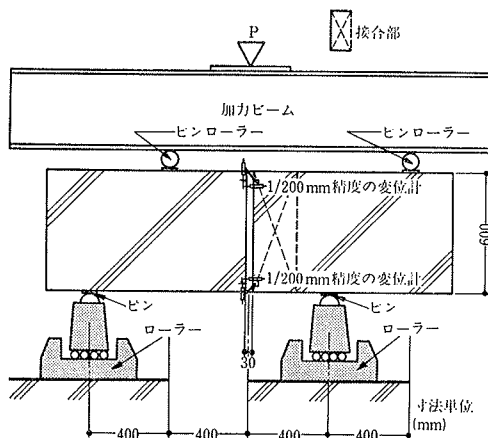


図-4 シリーズ 2 の加力および測定方法

試験体名	グラウトモルタルの強度 (kg/cm ²)	初すべり発生時の平均付着応力度 (kg/cm ²)	降伏時の平均付着応力度 τ_b (kg/cm ²)	最大平均付着応力度 $\tau_{b \max}$ (kg/cm ²)
45・CP1・Pr	486	9.8	25.4	29.6
45・CP1・Po	493	6.3	26.7	34.9
45・CP2・Pr	486	8.9	31.9	49.3
45・CP2・Po	493	8.0	30.8	54.6
45・AP・Pr	486	5.4	25.8	37.6
45・AP・Po	493	7.1	26.8	32.4
50・AP・Pr	423	7.1	29.6	33.0
50・AP・Po	423	7.1	32.6	38.9
40・AP・Pr	562	11.6	31.8	41.8
45・FP・Po	486	8.0	—	10.1

表-3 シリーズ 1 の試験結果

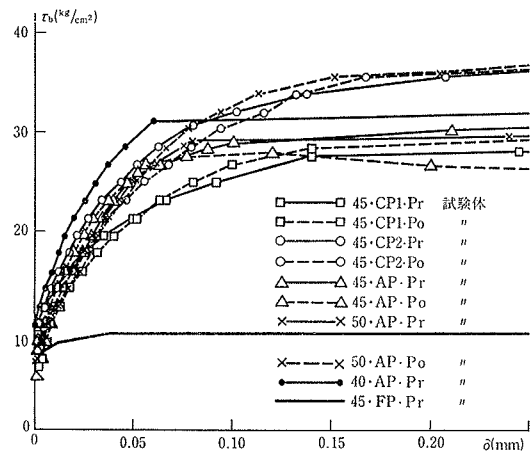


図-5 シリーズ 1 の荷重～すべり量曲線

および施工法(プレグラウトとポストグラウト)の違うものの τ_b を比較すると、実験値のバラツキが大きく、これらの影響による差は、明確に把握できなかった。

以上の結果から、接合プレートの素材としては、両面の縞鋼板のものが大きな耐力を示したが、2枚の縞鋼板を溶接して貼り合わせる特殊な加工が必要とされ、この製作上の理由で両面の縞鋼板を接合プレートに使用するのをとりやめた。

一方、アンチスリップ鋼板および片面の縞鋼板のものは、ほぼ同じ付着耐力を示したが、アンチスリップ鋼板の方が、材料の均一性、信頼性などの点で優れていることから、この鋼板を接合プレートの素材として採用することとし、シリーズ 2 において使用した。

3.2. シリーズ 2

実験結果をまとめて表-4に、せん断力Qと接合部における相対すべり量 δ の関係を図-6に示す。

3.2.1. 破壊経過 加力を開始すると、A・T型試験体以外のものでは、試験体のセンターから左右40 cmの加力点および反力点位置における引張側コンクリートに

曲げひび割れおよび接合部上面の接合プレート或いは切欠き成形金物の界面にひび割れが発生した。荷重の増大にもなってひび割れが増加、進展し、一部の試験体で接合部のPCコンクリートにせん断ひび割れが発生したが、このせん断ひび割れは余り進展せず、最終的には接合部の界面がすべり破壊した。最大耐力時における梁主筋のひずみは、最も大きいもので $\epsilon=1,625 \times 10^{-6}$ と降伏に至っているものはなかった。

一方、A・T型試験体は、加力を開始すると曲げひび割れが発生することなく、 $Q=19t$ で突然、縞鋼板製の切欠き成形金物における平滑面とPCコンクリートとの界面で付着が切れ、瞬時に破壊した。

接合部における最終破壊状況を写真一2に示したが、破壊パターンは以下の四つに分類できる。

(1) A, A・S, A・C および A・R 型試験体の破壊で、接合プレートとグラウトモルタルとの界面におけるすべり破壊で終局に至ったもの。

(2) A・D・T および A・R・T 型試験体の破壊で、縞鋼板製の切欠き成形金物における凹凸面とグラウトモルタルとの界面におけるすべり破壊で終局に至ったもの。

(3) F・B および F・D 型試験体の破壊で、(1)と(2)の破壊が同時に進行し、(2)と同じ破壊で終局に至ったもの。

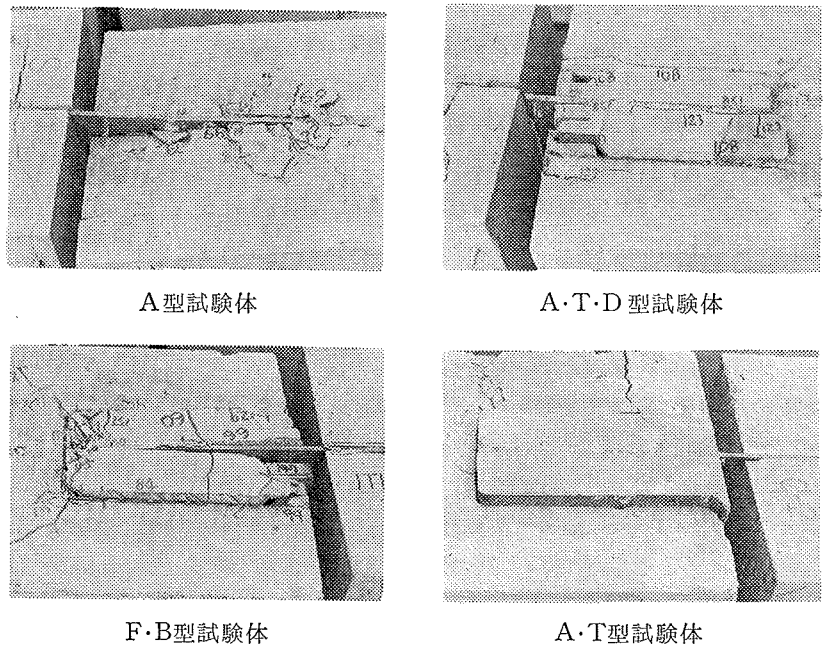
(4) A・T 型試験体の破壊で、縞鋼板製の切欠き成形金物における平滑面とPCコンクリートとの界面における脆性的な付着破壊で終局に至ったもの。

3.2.2. せん断力 Q ～すべり量 δ 曲線
図一6をみると、その性状は、いずれの試験体もPC材におけるせん断応力度 $\tau_s(Q/b \cdot j)$ が $10 \sim 15 \text{ kg/cm}^2$ 程度まで

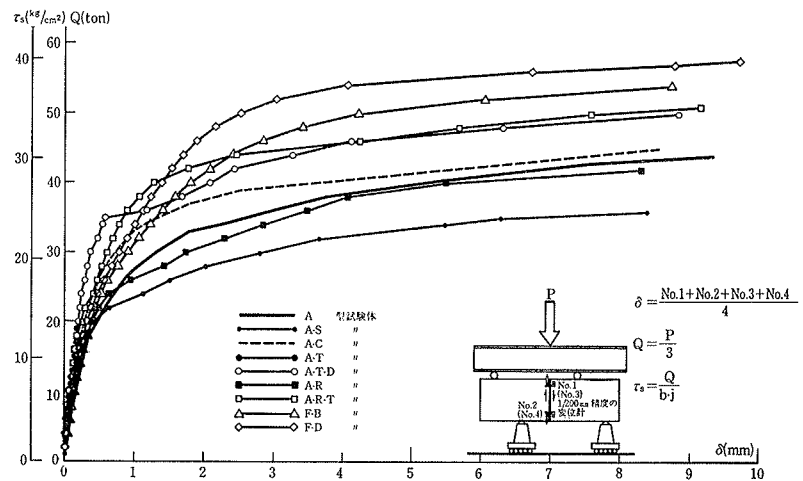
試験体名	PCコンクリートの圧縮強度 (kg/cm ²)	グラウトモルタルの圧縮強度 (kg/cm ²)	最大せん断耐力 Qmax (ton)	PC材の最大せん断応力度 max τ (Qmax/b·j) (kg/cm ²)	接合プレートの最大せん断応力度 (Qmax/t·l) (kg/cm ²)	接合プレートとグラウトモルタルとの界面の最大平均付着応力度 lmax τ_0 (kg/cm ²)
A 型	389	437	49.0	33.9	1,361	19.4
A・S 型	364	453	37.7	26.1	1,047	15.0
A・C 型	375	458	51.7	35.8	1,436	20.5
A・T 型	380	401	20.0	13.9	556	7.9*
A・T・D型	380	401	57.3	39.8	1,592	22.7*
A・R 型	393	488	46.3	32.1	1,286	18.4
A・R・T型	393	524	57.3	39.8	1,592	22.7*
F・B 型	378	505	55.7	38.6	1,547	22.1
F・D 型	378	505	61.8	42.8	1,717	24.5

*1 開止めの面積は付着面積に付加されていない。

表一4 シリーズ2の実験結果



写真一2 接合部の破壊状況



図一6 シリーズ2のせん断力～すべり量曲線

は弾性的な挙動を示し、それ以後の剛性低下も A・T 型試験体以外は、漸進的で比較的靱性に富む挙動を示した。

接合部における面外方向の剛性を高める或いは面外方向の変形を拘束する開き止めを設けるなどの補強策を講じた試験体の弾性剛性は、講じないものと比較して高く補強効果があらわれているが、とくに、開き止めの効果は顕著であった。

3.2.3. 強度 実験結果まとめて表-4に示したが最大荷重のときのせん断耐力で比較検討を行った。以下に示す値は最大荷重のときの PC 材における最大せん断応力度 $\max \tau (Q_{\max}/b \cdot j)$ である。

接合部切欠き隅角部に割裂補強筋のみが配筋されている A 型試験体のせん断耐力は 33.9 kg/cm^2 であった。

○接合部の面外剛性を高める補強策の効果—A・S 型および A・C 型試験体の耐力は、前者が 26.1 kg/cm^2 、後者が 35.8 kg/cm^2 と A 型試験体の耐力に対する比率をみると、それぞれ 0.77 倍、 1.07 倍であった。接合部の PC コンクリートをふかした A・C 型に若干補強効果があらわれているものの、補強プレートを挿入した A・S 型の耐力は A 型よりも低く、プレートの補強効果はあらわれなかった。

○グラウトモルタルと PC 材とにおける一体性を増すためのシャコネクタの効果—A・T・D 型および A・T 型試験体の耐力は前者が 39.8 kg/cm^2 、後者が 13.9 kg/cm^2 と、前者は後者の 2.87 倍の耐力を保有しており、シャコネクタの効果は顕著であった。

○開き止めの効果—A・R・T 型および A・R 型試験体の耐力は、前者が 39.8 kg/cm^2 、後者が 32.1 kg/cm^2 と、

前者は後者の 1.24 倍の耐力を保有しており、開き止めの効果があらわれたといえる。

○シャコネクタを利用した接合法の有効性—F・B および F・D 型試験体の耐力は、前者が 38.6 kg/cm^2 、後者が 42.8 kg/cm^2 と、A 型試験体の耐力に対する比率をみるとそれぞれ 1.14 倍、 1.26 倍であった。接合プレートおよび切欠き成形金物に設けたボルト或いは鉄筋のシャコネクタのダボ効果によりせん断耐力を発揮するこの接合部は、大きなせん断耐力を示しており、この耐力機構による接合法は有効であった。

4. 結び

PC 板相互をグラウトモルタルを介して接合プレートでつなぐことによりせん断伝達を行う面内接合法で構築された接合部について、接合プレート界面における付着耐力を検討するために引抜き試験、接合部のせん断耐力を検討するために逆対称加力形式での曲げせん断実験をそれぞれ行なった。

その結果、アンチスリップ鋼板製の接合プレートの付着耐力および A・S 型および A・T 型以外の試験体における接合部の保有せん断耐力は十分であり、A・S 型および A・T 型試験体以外の接合部は、地震時の水平力を負担する地下外壁に使用できることが確認された。

参考文献

- 1) 脇村典夫, 他: 近鉄モータースビルの建設, 施工, No. 118, (1976), pp. 31~50