

論文 手摺りとスラブを分割してプレキャスト化したバルコニーの耐力に関する研究

成瀬 忠^{*1}・渡邊朋之^{*2}

要旨:手摺りとスラブを分割してプレキャスト化したバルコニーの接合部分の耐力を把握するために実大寸法の試験体を製作し、地震を想定した静的水平方向繰返し加力実験を実施した。実験の結果から定着筋周りの割裂破壊を抑制する補強方法、および隅角部のコンクリートが脆性的に破壊するのを防止する補強方法の効果を確認した。また、それぞれの破壊形式に対して強度評価式の妥当性を検証した。

キーワード:鉄筋コンクリート、プレキャスト、バルコニー、載荷実験

1. はじめに

集合住宅のバルコニーをプレキャスト（以下、PCa）化する場合、通常は手摺りとスラブが一体となったL型形状で製作されるが、平積みできないため、工場でのストックや運搬の際に不経済となる。しかし、手摺りとスラブを分割して製作すれば複数のPCa部材を重ねられるため運搬やストックの効率は向上するが、スラブ先端の起ち上がり部と手摺り板底面の間に接合部を設けることになり、構造上の一体性が要求される。従って、立上り部内にはスラブ主筋の定着とPCa部材どうしを繋ぐ定着筋とを十分に定着させなければならない。

本報では、接合形式および立上り部の補強法の違いによる構造性能を把握するために実物大試験体を製作し、地震時の水平力に対しバルコニーとしての挙動を把握するために実施した静的加力実験の結果と、耐力の評価方法について報告する。

2. 工法の概要

図-1に工法の概要を示す。本工法は、工場で作成したPCa手摺り板とスラブを現場で接合させるタイプである。接合方法は手摺り側に定着筋を埋め込み、スラブの立上り部にシース管によって構成する凹部に、グラウト材を充填して手摺り板の定着筋と一体化する。

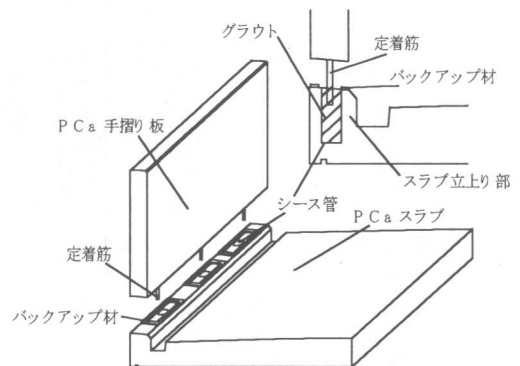


図-1 工法の概要

3. 構造実験による構造性能の把握

3.1 実験概要

(1) 試験体

試験体は、実物大スケールで4体製作した。各試験体とも幅100cm、スラブ上面から手摺り頂部までの高さ120cm、手摺り厚さ15cm、スラブ厚さ20cm、溝部厚さ14cmとした。

① RC試験体

現場一体打ちを模擬した試験体で、コンクリートの設計強度は 21N/mm^2 とした。手摺り部はD10@200でシングル配筋した。

PCaを模擬した他の4体のコンクリート強度は、

*1 前田建設工業(株) 技術本部 技術研究所 研究第2Gr. 主任研究員（正会員）

*2 前田建設工業(株) 技術本部 技術研究所 研究第2Gr. 課長（正会員）

30N/mm² とした。手摺りとスラブの接合方法は、B-PC1～4 試験体共通で、スラブ側に埋め込まれたシース管に、手摺り板に埋設した定着筋を挿入し、間隙を無収縮モルタルでグラウトし一体化する。

②B-PC1 試験体

定着筋は 2-D22, シース管はスパイラル型 (φ60×L150) を使用した。手摺り部の配筋は B-RC 試験体と同じ。

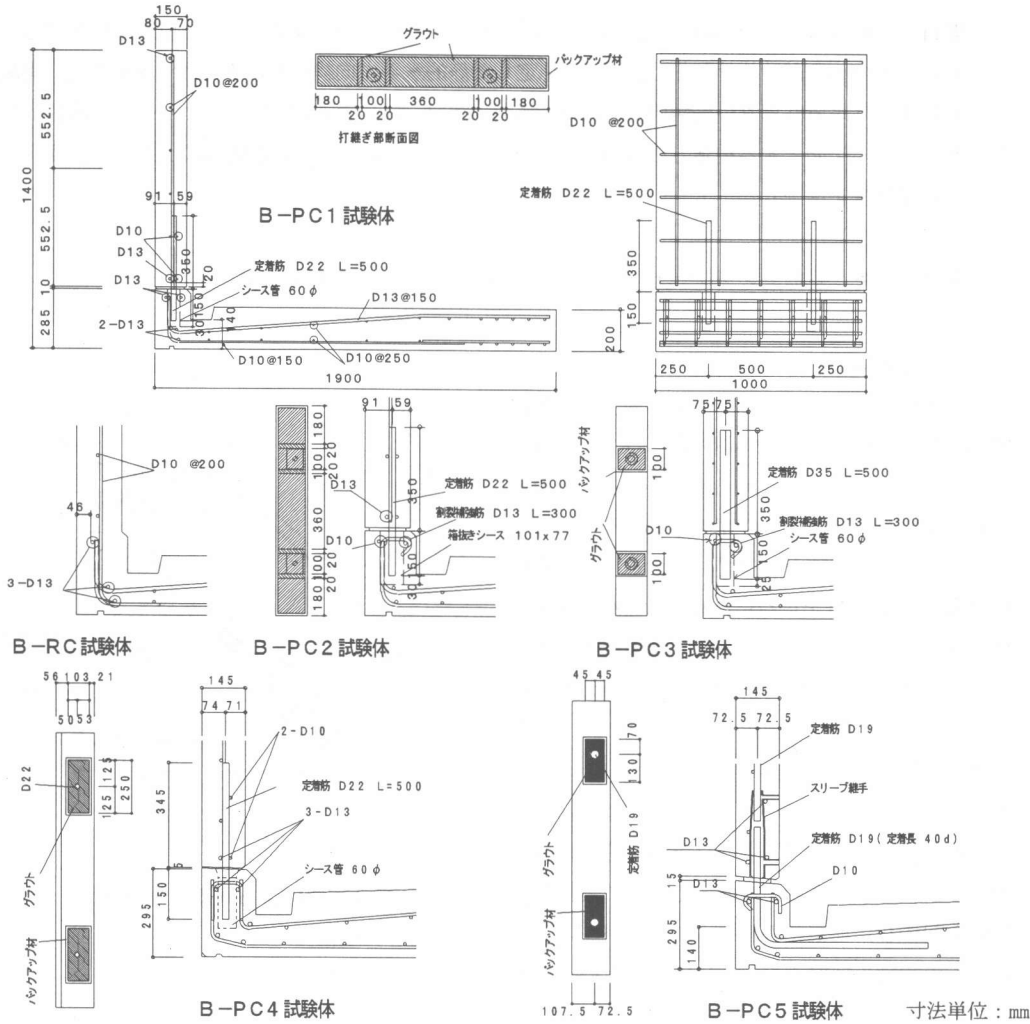


図-2 試験体の形状と配筋およびグラウト断面

表-1 試験体諸元

試験体名	B-RC	B-PC1	B-PC2	B-PC3	B-PC4	B-PC5
目標コンクリート強度 (打継ぎ部)*1	21N/mm ²	30N/mm ² (60N/mm ²)	30N/mm ² (60N/mm ²)	30N/mm ² (60N/mm ²)	30N/mm ² (60N/mm ²)	30N/mm ² (60N/mm ²)
定着筋*2 (スラブ側定着長)	5-D10 (—)	2-D22 (150mm)	2-D22 (150mm)	2-D35 (150mm)	2-D22 (150mm)	2-D19 (760mm)
定着筋位置*3	外側 85mm 内側 65mm	81mm 49mm	65mm 65mm	65mm 65mm	81mm 49mm	65mm 65mm
グラウト範囲	—	全断面	全断面	130×100	250×103	200×90
シース形状	—	スパイラル φ60×150	箱抜き 110×77×150	スパイラル φ60×150	スパイラル φ60×150	スリーブ継手
定着割裂補強筋	無	無	有	有	有	有

*1 : コンクリートは早強コンクリート、打継ぎ部はプレミックス型無収縮モルタルを使用。

*2 : PCa 試験体の打継ぎ部断面位置での配筋

*3 : バックアップ材による断面欠損を片側 10mm とし、グラウト部縁から鉄筋芯までの距離。

③B-PC2 試験体

定着筋は B-PC1 試験体と同様であるが、金属手摺りとの共用を考慮し、シースを箱抜き型 (101×77×L150mm) にした。定着筋による立上り部の割裂を防止するためシースの両側のスラブ立上り鉄筋にフックを掛け、D13 (L=30cm) を横配筋した。

④B-PC3 試験体

定着筋に 2-D35 を使用し、定着筋周辺のみグラウトを充填した。シース形状は、B-PC1 試験体と同様スパイラル型、シース周りの補強は、B-PC2 試験体と同じとした。

⑤B-PC4 試験体

スラブの上下端筋を定着筋を挟むように前後に立上げ、鉄筋先端に設けた割裂補強筋 2-D13 (L=30cm) を上から拘束するようにシース管の両脇に D10 の幅止め筋を配した。

⑥B-PC5 試験体

スラブ鉄筋の立上り部の配筋は B-PC4 試験体と同じである。また、定着筋に 2-D19 を用い、手摺り板側に埋設したスリーブ継手からグラウトを注入して接続した。なおグラウト強度は、PCa 手摺りの支保工を早期に撤去することを想定して若材令時の 60N/mm² を目標とした。表-1 に試験体諸元、図-1 に試験体の形状と配筋およびグラウト断面を示す。表-2、表-3 に鉄筋とコンクリートの力学的性質を示す。コンクリートは、早強セメントと最

大粗骨材寸法 20mm の砕石を使用し、目標スランプは 15cm とした。

(2) 加力方法

加力は、地震時の手摺り板の慣性力を想定し、スラブの端を固定し、両端ピン接合の油圧ジャッキにより手摺り板の重心高さで水平方向に正負繰返し加力を行った。

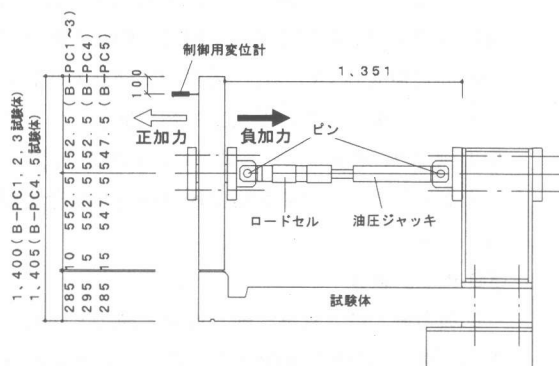
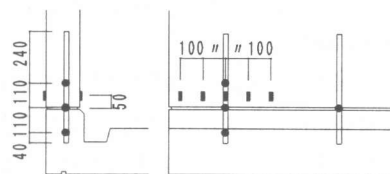


図-3 加力装置

(3) 計測方法

計測は油圧ジャッキ先端に取り付けたロードセルで荷重を、また手摺り頂部の制御用変位を電気式変位計により測定した。図-4 にひずみゲージ測定位置を示す。ひずみは、定着筋の接合位置とコンクリートの有効幅を測定するために、定着筋を中心に 40cm の幅で 5 点、手摺り板外面に貼付した。



●：鉄筋歪ゲージ (5mm)、■：コンクリート歪ゲージ (70mm)

図-4 ひずみ測定位置

表-2 鉄筋の力学的性質

種別	降伏強度 (N/mm ²)	引張強度 (N/mm ²)	弾性係数 (kN/mm ²)	降伏歪 (×10 ⁻⁶)	伸び (%)
D10	373	531	187	200	18.5
D13	360	524	183	196	20.0
D22	416	594	182	228	16.9
D35	414	586	183	226	22.1

表-3 コンクリートの力学的性質

試験体 名	コンクリート		グラウト
	圧縮強度 (N/mm ²)	割裂強度 (N/mm ²)	圧縮強度 (N/mm ²)
B-RC	24.3	2.27	—
B-PC1	33.9	2.23	55.8
B-PC2	34.7*	2.31*	55.8
B-PC3	35.5	23.8	66.8
B-PC4	31.5	3.05	47.9
B-PC5	42.2	2.99	42.2

*：B-PC1,3 試験体の平均値とした。

3.2 実験結果

(1) 破壊経過

図-5 に最終破壊状況を示す。実線は正加力時、破線は負加力時を示す。

①B-RC 試験体

正加力側では、溝部に曲げひび割れが発生した後、隅角部に斜め方向にせん断ひび割れが発生するとともに最大耐力に達し、徐々に耐力低下した。負加力側では、スラブ底面の水切り部に曲げひび割れが発生した後、手摺りに発生した曲げひび割れが開いて最大耐力に達した。

②B-PC1 試験体

正加力側では、打継ぎ部が徐々に開き、次に溝部に曲げひび割れが発生し、隅角部のせん断ひび割れへと伸展していった。最終的には立上り部の定着筋に割裂ひび割れが発生し耐力低下した。負加力側では、水切り部から曲げひび割れが発生し、立上がり部の定着筋の割裂破壊が進行し急激に耐力が低下した。

③B-PC2 試験体

正加力側では、打継ぎ部が徐々に開くと同時に溝部に曲げひび割れが発生し、隅角部にせん断ひび割れが発生し、立ち上がり部内面の定着筋付近に垂直方向に割裂ひび割れが発生した。負加力側では、水切り部に曲げひび割れが発生し、立ち上がり部の内外両面に、定着筋位置付近に割裂ひび割れが発生したが、急激な耐力低下はなかった。

④B-PC3 試験体

正加力側では、溝部に曲げひび割れが発生した後、隅角部にせん断ひび割れが発生し耐力低下した。負加力側では、水切り部に曲げひび割れが発生した後最大耐力に達した。最終的には定着筋周りのコンクリートが押し出されて耐力低下した。

⑤B-PC4 試験体

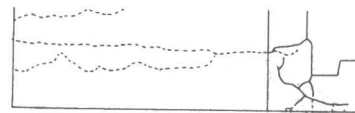
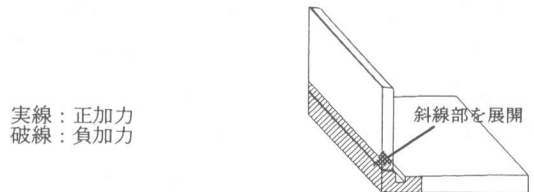
正加力側では、溝部に曲げひび割れが発生した後、定着筋に沿った縦ひび割れ、および隅角部にせん断ひび割れが発生し、耐力低下した。負加力側は、定着筋が曲げ降伏し、立ち上がり部に定着筋に沿った垂直ひび割れが発生した。

⑥B-PC5 試験体

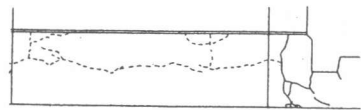
正、負加力側とも定着筋が曲げ降伏した。降伏変形以降は、定着筋の塑性領域の拡大に伴ない全体変形が進展していった。最終変形時までコンクリートのひび割れは全く発生していなかった。

(2) 荷重－変形関係

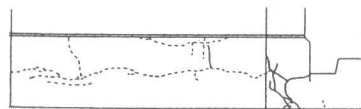
図-6 に荷重と手摺り頂部の水平変形の関係を示す。図中の破線は、手摺り板に 980gal の水平方向加速度が作用した場合に相当する水平荷重 3.92N（以下、この力を 1MG と呼ぶ。）を示している。B-RC、B-PC1～3 試験体では、正加力側の最大耐力は、約 3MG であった。負加力側の最大耐力は、B-RC 試験体は 5.6MG、B-PC1 試験体は 5.3MG、B-PC2 試験体は 4.6MG、B-PC3 試験体は 6.8MG で



B-RC 試験体



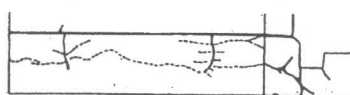
B-PC1 試験体



B-PC2 試験体



B-PC3 試験体



B-PC4 試験体

図-5 最終破壊状況

あった。B-PC1～4 試験体では正加力側で隅角部がせん断ひび割れしたが、B-PC4 試験体のみ最大荷重以後の耐力低下が少なく、最大耐力も 6.0MG であった。負加力側は繰り返しによる耐力低下はなかった。B-PC5 試験体は、正負ともに繰り返しによる耐力低下はなく、最大耐力は 4.2MG であった。

3.3 結果の検討

(1) コンクリートの有効幅

図-7 にコンクリートの正加力側各サイクルピーク時での圧縮有効幅を示す。圧縮有効幅は、図中に示すように定着筋位置を中心に手摺り板外面で測定した5点のひずみ分布で囲まれた面積の値を、定着筋位置のひずみ値で除して算出した幅とした。打継ぎ部のない B-RC 試験体の有効幅は、測定区間 40cm にほぼ一致しており全断面で均等に圧縮力を負担している。グラウト長さが 25cm 以上ある B-PC1,2,4 試験体では、有効幅は 20cm 以上であった。グラウト長さが 20cm で定着筋の位置が敷きモルタルの中心から 3cm ずれている B-PC5 試験体では、有効幅は 18cm まで下がっている。定着筋に D35 を用いた B-PC3 試験体では、グラウト長さ 10cm より少し大きくなっている。

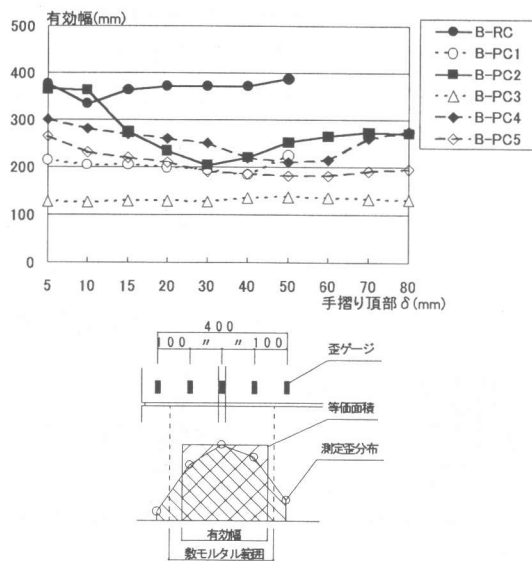


図-7 コンクリートの圧縮有効幅

(2) 耐力評価

正加力側の B-RC, B-PC1～3 試験体に比べ B-PC4 試験体では飛躍的に耐力が向上している。B-PC2,4 試験体のモーメント抵抗機構を比較すると図-8 のように B-PC2 試験体ではかなり破壊が外面に集中している。これは、定着筋の外側のスラブ筋まで

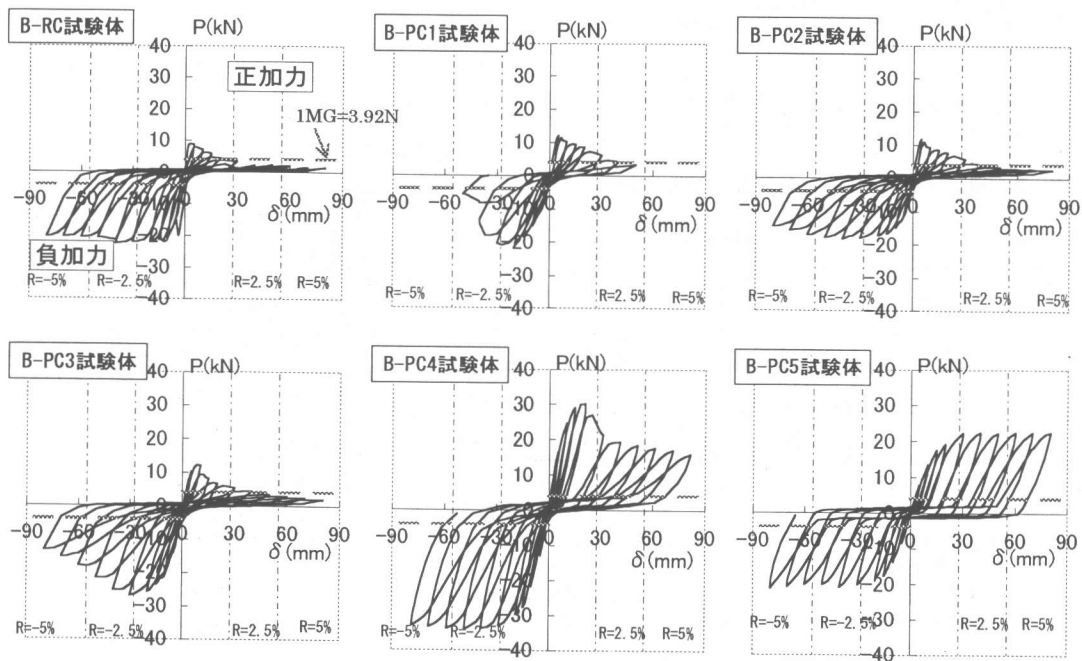


図-6 各試験体の荷重－頂部変形関係

引張り力を負担するものがないため、応力中心間距離が小さくなってしまふと考えられる。B-PC4試験体では、スラブの上端筋が定着筋からの引張り力を負担できるため、抵抗できるモーメントが大きくなったと考えられる。図-9に隅角部のせん断有効面積を図中のように仮定し、実験値と計算

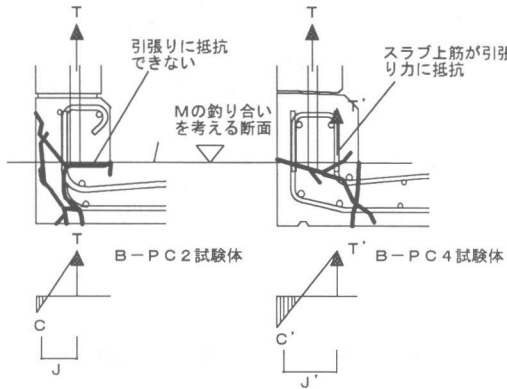
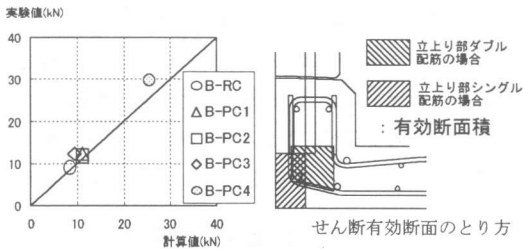
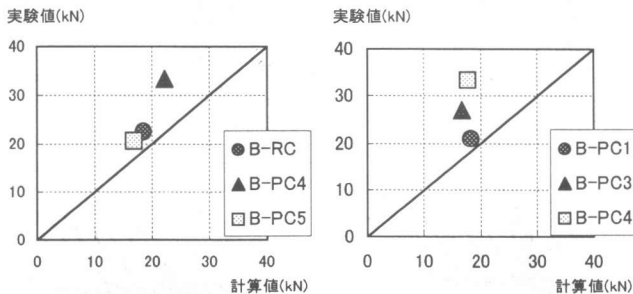


図-8 隅角部でのモーメント抵抗機構



$$\begin{aligned} Mu &= cVe \cdot jFs & (1) \\ jFs &= \min(0.12 Fc, 18 + 3.6 Fc/100) \\ cVe &: \text{せん断有効体積 (= 右上図の有効面積} \times \text{スラブ幅)} \end{aligned}$$

図-9 隅角部せん断耐力の評価 (正加力時)



$$\begin{aligned} bMu &= 0.9at \cdot \sigma y \cdot d & (2) \\ at &: \text{定着筋断面積} \\ \sigma y &: \text{定着筋降伏強度} \\ d &: \text{定着筋芯から圧縮縁までの距離} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} bMu &= 0.85Fc \cdot cA \cdot j & (3) \\ Fc &: \text{コンクリート強度} \\ cA &: \text{圧縮有効面積} \\ j &: \text{応力中心間距離} \end{aligned}$$

図-10 打継ぎ部の曲げ耐力 (負加力時)

値の関係を示しているが、良く対応している。図-10に負加力側で定着筋が降伏する場合、圧縮側のコンクリートが圧壊する場合の耐力評価式とそれぞれの破壊モードに対応した試験体の実験値との関係を示す。ただし、B-PC2試験体は(3)式の計算値に到達する前に定着筋が降伏したため除いている。コンクリートが圧壊した試験体は見られなかったため、圧壊による曲げ耐力は更に大きな値となる。各試験体の実験値は、(2)、(3)式による計算値よりも大きくなっている。

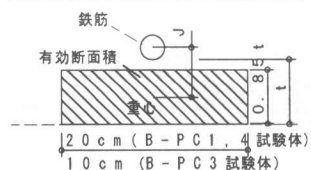
4. まとめ

本実験の結果と検討から以下の知見を得た。

- (1) 定着筋にD22以上の鉄筋を用いると、手摺が外面に倒れる方向では、隅角部のせん断破壊で壊れるが、スラブの立上り部をダブル配筋とすることで補強方法により、耐力は2倍以上上昇する。
- (2) 手摺が内側に倒れる方向の負加力側では、定着筋の周囲に割裂補強筋を配することにより、急激な耐力低下を防ぐことができる。
- (3) 打継ぎ部に作用するモーメントの圧縮力に抵抗するコンクリート圧縮有効幅は、グラウトの長さが25cm以上であれば定着筋1本当たり20cm以上とれている。
- (4) 隅角部せん断強度、打継ぎ部の曲げ強度の各破壊モードに対応した試験体の実験結果から、実験値の下限を評価する式を示した。

[参考文献]

- {1} 成瀬忠, 渡辺朋之: 手摺りとスラブを分割してプレキャスト化したバルコニーの耐力に関する研究, 1998年度日本建築学会大会学術講演梗概集, pp781-782, 1998.9
- {2} 成瀬忠, 渡辺朋之, 有馬久智: 手摺りとスラブを分割してプレキャスト化したバルコニーの耐力に関する研究 (その2) 隅角部の補強, 2000年度日本建築学会大会学術講演梗概集, pp881-882, 2000.9



(3) 式の cA , j のとり方