

論文

[2058] プレキャスト軽量コンクリート床スラブの面内せん断挙動に関する研究

正会員○横谷 栄次 (関東学院大学工学部)  
 正会員 築地 光雄 (積水ハウス技術部)  
 小谷 宗男 (積水ハウス技術部)  
 山下 淳一 (関東学院大学大学院)

1. 緒言

通常、鉄骨フレーム構造における床には、デッキプレートを用いた場所打ちコンクリート床スラブが使用される。しかし、この床スラブよりプレキャスト床スラブを使用した方が工期、省力化の面からみると有利である。本研究では、低層鉄骨フレーム構造における床に、プレキャスト軽量コンクリート床スラブを適用することを考えた。鉄骨フレーム構造における床スラブに作用する面内せん断力をブレースに依存せずに、プレキャスト床スラブ間に設けられたコッター(シアキイ)によって抵抗させるようにした。したがって、コッターで接合されたプレキャスト床スラブの連床効果を調べるため、実大スラブによる面内せん断実験を行った。また単一プレキャスト床スラブの面外曲げ実験も行ったが、ここでは割愛し、面内せん断実験によって得られたせん断挙動のみを以下に報告する。

2. 実験概要

2. 1. 試験体

プレキャスト床スラブの試験体は、図-1に示すように、短辺が998mm、長辺が2998mm、厚さが125mmの長方形床スラブで、その短辺および長辺における端部は、厚さが85mmのダップドエンドになっている。コンクリート床スラブの短辺の端部下側には、長さ835mm、幅150mm、厚さ6mmのプレートを取り付け、4本16φのワンサイドボルトによってH形鋼(300×150×6×9)のはりと緊結されるように考えられている(試験体DN-11)。また、この端部のプレートははりに取り付けられる柱と間柱によって切り欠き部ができ、ボルトの緊結位置が異なる場合があり、最も構造的に不利な形状と考えられる2タイプの試験体(DN-12, DN-13)についても、欠損による影響を調べるために製作した。各床スラブは、上端筋にD8-150×300のメッシュ筋、下端筋に主筋D10-150@、配力筋D6-300@をダブル配筋とした。尚、主筋は床ス

ラブ端部のプレートに溶接することによって定着させた。これら3タイプの床スラブは、幅×長さ×深さ=78×120×45mmの形状をもつ3個のコッターによって3枚連続床スラブ相互の接合を行った。またコッター部以外の床スラブ間には、10mmのクリアランスを設け、コッター部と同時にジョイントモルタルを注入した

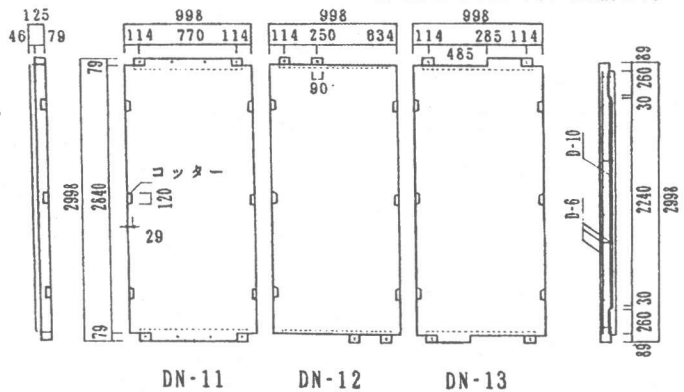


図-1 各試験体一覽

(DN-31、DN-32、DN-33)。また、床スラブ短辺端部の欠損部は、実状に合わせて柱、間柱を配置した。

床スラブの軽量コンクリートは、早強セメント、軽量骨材、混和剤および起泡剤で調合し、オートクレープ養生を行った。ジョイントモルタルは、超早強セメント、砂、混和剤を水セメント比40%で

調合し、コッターおよび目地部に注

入し、散水養生を行った。軽量コンクリートおよびジョイントモルタル、鉄筋の材料性状をそれぞれ表-1、および表-2に示す。

2. 2. 加力方法および測定方法

ピン接合のH形鋼フレームにボル

トで緊結された単一および3枚連続床スラブの試験体に30tのオイルジャッキによって正負交番繰り返し水平加力を鉄骨フレームを介して与えた。加力サイクルは、部材角が0.7, 1.3, 2.7, 4.5, 3.6, 7.8, 10.7, 13.3,  $16 \times 10^{-3}$  radとなる、それぞれ1サイクル載荷を行い、その後終局破壊に至るまで加力した。荷重はロードセルによって測定した。測定方法としては、試験体の水平変位、床スラブ相互の相対すべりおよび相対目開きを高感度変位計によって測定した。また各床スラブに作用するせん断力を測定するために、各床スラブの表面にコンクリートゲージをクロス状に貼り付けた。図-2に3枚連続床スラブの加力方法および変位計の取り付け位置を示す。

3. 実験結果

3. 1. ひび割れおよび破壊性状

単一床スラブ試験体では、DN-11、DN-12、DN-13の3体は、部材角が $(0.45 \sim 0.52) \times 10^{-3}$  radで初ひび割れがボルト近傍の上面に発生し、その後DN-12、DN-13では曲げひび割れがコッター部に発生する。終局に近づくとき、床スラブ裏面

試験体名	スラブコンクリート			ジョイントモルタル	
	圧縮強度 kg/cm <sup>2</sup>	ヤング係数 kg/cm <sup>2</sup> × 10 <sup>-5</sup>	比重	圧縮強度 kg/cm <sup>2</sup>	ヤング係数 kg/cm <sup>2</sup> × 10 <sup>-5</sup>
DN-11	235	1.04	1.47	-	-
DN-12	202	0.99	1.39	-	-
DN-13	199	0.92	1.32	-	-
DN-31	202	1.00	1.40	601	2.44
DN-32	219	1.05	1.49	601	2.38
DN-33	220	1.07	1.48	600	2.44

表-2 鉄筋機械的性状一覧

鉄筋	降伏点強度 kg/cm <sup>2</sup>	引張強度 kg/cm <sup>2</sup>	ヤング係数 kg/cm <sup>2</sup> × 10 <sup>-5</sup>
D-6	4364	5761	2.02
D-10	3666	5366	2.02

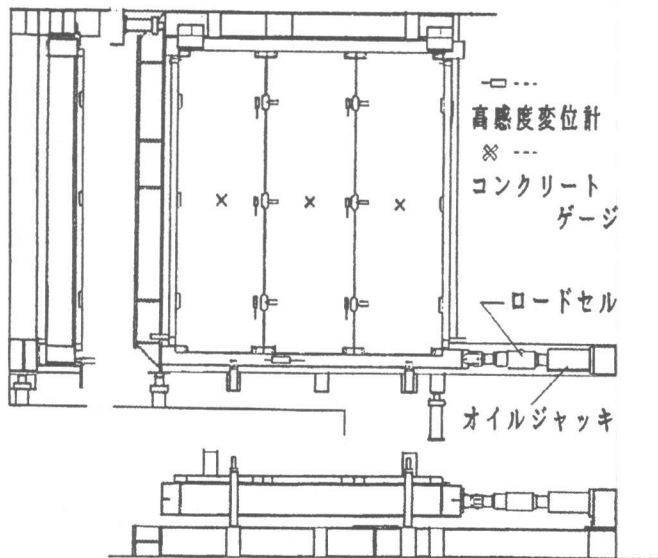


図-2 3枚連続床スラブのせん断実験装置

の支持辺近傍において、端部でベントしている主筋が大きな引張応力を受けて直線状に伸びるため、下側のかぶりコンクリートを剝離させる。

3枚連続床スラブ試験体では、DN-31、DN-32、DN-33において、 $(0.45 \sim 0.52) \times 10^{-3} \text{ rad}$ で曲げによるひび割れが発生する。その後、 $4 \times 10^{-3} \text{ rad}$ で目地部分に沿ったひび割れが起きる。さらに荷重を加えると、床スラブ相互の相対すべりが増大し、コッター部のコンクリート圧縮強度が床スラブのコンクリート圧縮強度より著しく大きいために、コッターが床スラブにもぐり込む、いわゆる支圧破壊を呈する。その際、コッターから斜めせん断ひび割れが生ずる。DN-31、DN-32では部材角が $10 \times 10^{-3} \text{ rad}$ になると、コッターのせん断抵抗が低下し、3枚連続床スラブが分離し、単一床スラブと同じく終局に近くなると、ベントした主筋の大きな伸び変形によって、下側のかぶりコンクリートが剝離する。DN-11およびDN-31のひび割れ状況を図-3に示す。

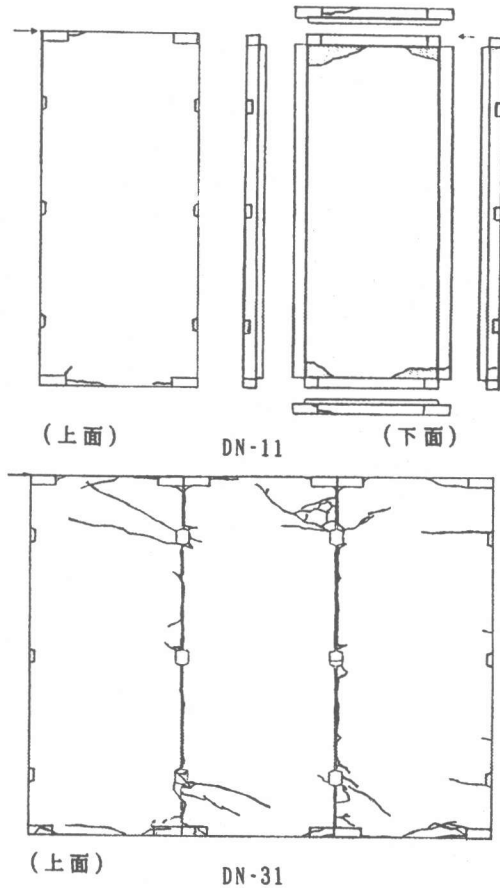


図-3 ひび割れ状況図

### 3. 2. 履歴曲線

単一床スラブおよび3枚連続床スラブの試験体の荷重-部材角曲線を図-4に示す。単一床スラブは、DN-11、DN-12、DN-13とも部材角の増加と共に荷重は増加する傾向を示している部材角が $16 \times 10^{-3} \text{ rad}$ 以降の単調加力でも荷重は増大し、DN-11、DN-13は、部材角が $30 \times 10^{-3} \text{ rad}$ 以降で荷重がほぼ一定となる傾向を示している。これは、床スラブと支持鋼材の合成効果が最大に達したことを示す。

3枚連続床スラブは、DN-31が部材角 $11 \times 10^{-3} \text{ rad}$ で最大荷重に達した後、荷重が徐々に減少し、部材角が $19 \times 10^{-3} \text{ rad}$ に達すると、荷重は急激に減少し、それ以降では荷重は一定になっている。これは3枚連続床スラブが単一床スラブに分離したものと考えられる。DN-32は、部材角が $8 \times 10^{-3} \text{ rad}$ で最大荷重に達した後、荷重は徐々に低下するが、最後の単調加力では、荷重が最大荷重近傍まで復元する傾向を示している。これは、コッターの支圧破壊後、3枚連続床スラブが単一床スラブに分離したが、単体としての床スラブの耐力の総和に近づいていることを示している。DN-33は、部材角が $17 \times 10^{-3} \text{ rad}$ で荷重が最大となり、その後部材角が $22 \times 10^{-3} \text{ rad}$ で荷重が急激に低下し、それ以降では荷重はほぼ一定になっており、その挙動はDN-31とは余り変わらないと言える。

3枚連続床スラブDN-31、DN-32、DN-33の荷重-部材角曲線から得られた正側の包絡線を図-5に示す。この図よりDN-31およびDN-33は殆ど耐力の差はみられ

ないが、DN-32は両者に比べて、耐力が減少することが認められる。これより、ボルトの緊結位置の相違が、連床効果に大きな影響を与えることがわかる。また、DN-31およびDN-33は部材角がおおよそ $20 \times 10^{-3}$ radで急激にせん断耐力が減少しているが、この時のせん断耐力は、単一床スラブの同じ部材角のせん断耐力の3倍したものにほぼ等しくなっており、連続床スラブが分離し、コッターによる連床効果が無くなったことを示している。

### 3.3. 各種強度

単一床スラブおよび3枚連続床スラブ試験体の面内せん断実験から得られた部位別各種ひび割れ荷重、最大荷重および終局荷重（最終サイクルにおける終局時荷重）を表-3に示す。これより標準タイプのDN-11およびDN-31と床スラブの短辺支持部分のプレートに一部欠損をもつDN-13およびDN-33は、ボルトの緊結配置が同一なため、最大荷重において殆ど差が見られない。しかし、床スラブの短辺支持部のプレートに欠損をもち、ボルトの緊結が逆対称配置のDN-12およびDN-32は、前者に比してDN-12のせん断耐力は概ね50%減少するが、DN-32は15%減少するに過ぎない。これはDN-32の場合、コッターによる連床効果が著しく現われたことを意味する。

3枚連続床スラブ試験体の最大耐力は、コッターの支圧強度によるせん断抵抗とボルト

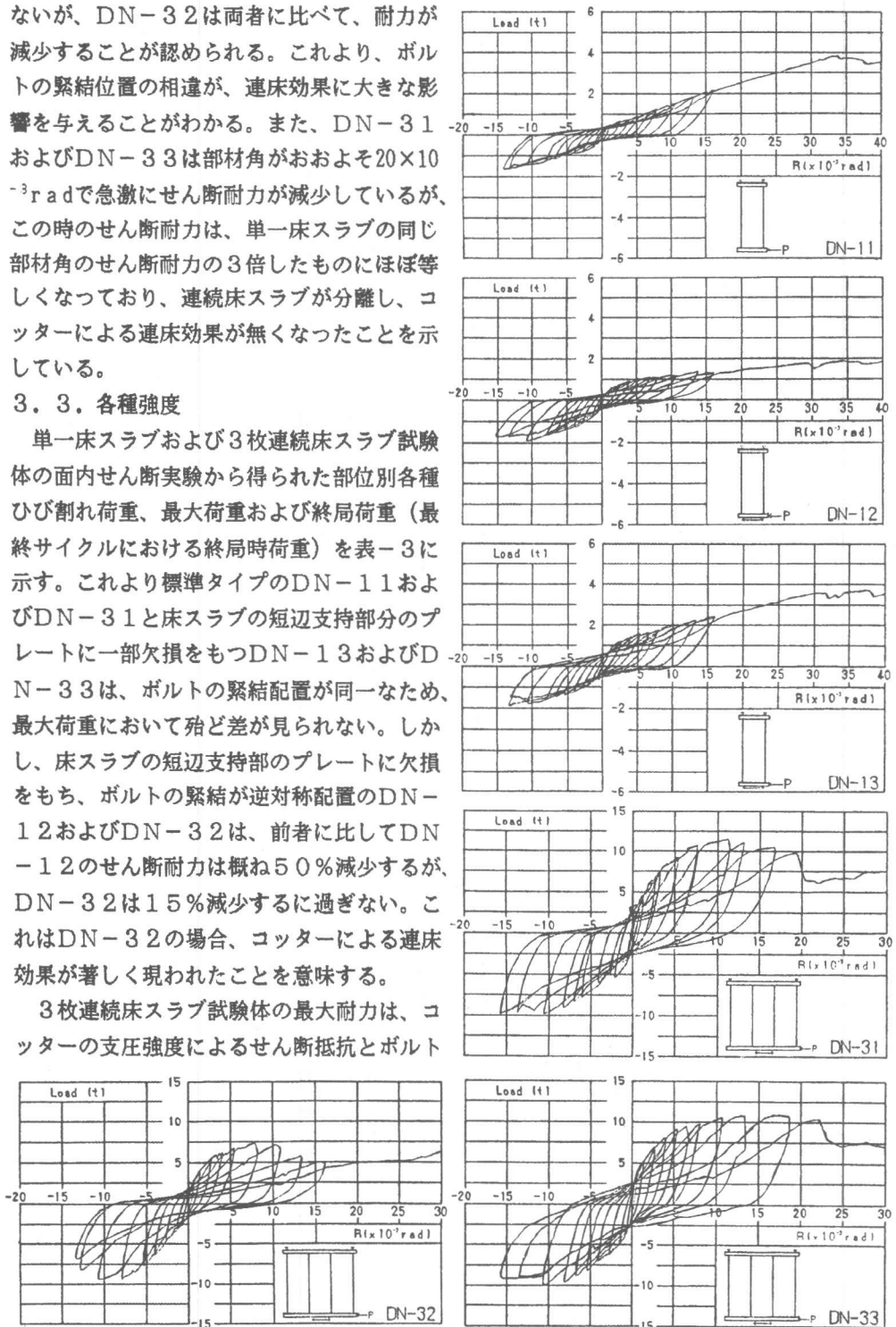


図-4 荷重-部材角曲線

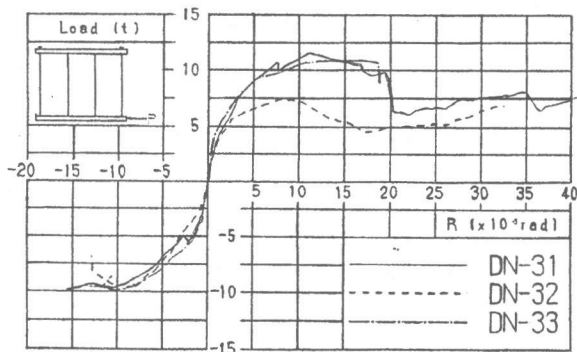


図-5 包絡線

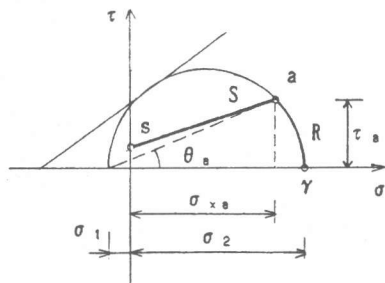


図-6 Pumeの強度曲線

を緊結したH形鋼材のせん断抵抗によるものと考えられる。コッターの支圧強度によるせん断抵抗は、図-6に示すように、コッター部における床スラブコンクリートの破壊基準をモールの応力円とすべり破壊基準で表したPumeの強度曲線を用いる(文献1)。これより、コンクリートの支圧破壊時のコッターのせん断応力は、つぎの近似式によって与えられる。

$$\frac{\tau_a}{F_c} = \frac{k_s}{1+k_s^2} [S_1 \frac{m}{\lambda} (0.5\lambda + 0.5 + k_s^2) + k_1/k_s] \quad (1)$$

ここに、 $k_1$ 、 $k_s$ はすべり破壊基準における係数、 $S_1$ は主応力をあたえる係数、 $m$ は支圧面積比、 $\lambda$ はせん断面積比、 $F_c$ はコンクリートの圧縮強度を意味する。これらの係数は、押し抜き試験結果から $k_1=0.014$ 、 $k_s=0.074$ 、 $S_1=18.7$ が得られた(文献2)。これらの値とコッターの形状係数 $\lambda$ を(1)式に代入すると、 $\tau_a/F_c=0.2$ が得られた。これより、床スラブのコンクリートが支圧破壊を生ずるときのコッターのせん断耐力が計算される。

一方、鋼材によるせん断抵抗は、床スラブからボルトへのせん断伝達に対応する。これは単一床スラブの面内せん断試験より得られた水平荷重からボルトのせん断力が計算される。ここでは、3枚連続床スラブの最大耐力は、部材角が概ね $10 \times 10^{-3}$  rad時に生じているので、この部材角における単一床スラブの水平荷重から得られたボルトのせん断力は、DN-11、DN-12、DN-13からそれぞれ $Q_b=4.78$ 、 $3.54$ 、 $5.24$  tが求められた。このせん断力を付加して計算された最大耐力を表-3にまとめた。これより得られた、計算値は実験値に近く、本算定法によりせん断耐力を推定することができる。

3.4. すべり変位と目開き変位 表-3 実験結果一覧

試験体DN-31、DN-32、DN-33に対する床スラブ相互の相対すべり変位分布を部材角をパラメーターとして図-7に示す。これより、最大耐力時の相対すべり変位は、DN-31、DN-32、DN-33とも、3個のコッター部でほぼ7~12mmの値を示している。

試験体名	ひび割れ時荷重			最大荷重			終局荷重 (t)
	床スラブ (t)	コッター (t)	目地 (t)	実験値 (t)	計算値 (t)	実/計	
DN-11	0.4	-	-	3.98	-	-	3.5
DN-12	0.4	-	-	1.95	-	-	1.8
DN-13	0.5	-	-	3.95	-	-	3.5
DN-31	2.8	10.5	1.5	11.58	11.15	1.04	7.5
DN-32	2.4	-	2.4	9.41	10.64	0.88	6.7
DN-33	2.8	-	4.9	10.92	12.37	0.88	7.3

試験体DN-31、DN-32、DN-33に対する床スラブ相互の相対目開き変位分布を部材角をパラメーターとして図-8に示す。これより、相対目開き変位分布は、相対すべり変位分布と同様に、各試験体とも3個のコッター部においてほぼ一樣な分布になっていることが認められる。特に、DN-32は、大きな値を示し、ボルト緊結による水平方向の拘束が他に比べて劣っていることがわかる。

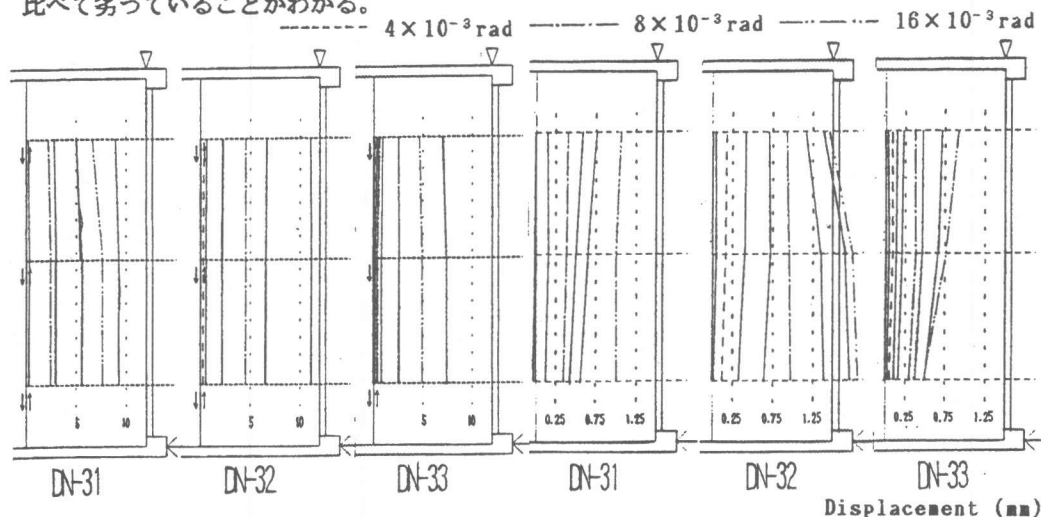


図-7 相対すべり変位分布図

図-8 相対目開き変位分布図

#### 4. まとめ

鉄骨フレームにボルトで緊結したプレキャスト軽量コンクリート床スラブについて、単一床スラブおよび3枚連続床スラブの面内せん断実験を行い、それらのせん断挙動から、コッターによる連床効果と鉄骨フレームとの合成効果について調べた。その結果、以下の事柄が示唆される。

- (1) 単一床スラブは、端部においてコンクリートの割裂破壊を生じ、3枚連続床スラブは、コッターの支圧破壊を起こした。
- (2) 3枚連続床スラブの最大耐力は、コッターのせん断耐力にボルトからのせん断伝達による鋼材のせん断抵抗を累加することによって得られる。
- (3) 床スラブ端部における鋼材とのボルトの緊結状態によって、単一床スラブの最大耐力は大きな影響を受けるが、3枚連続床スラブでは連床効果によって、余り大きな影響は受けない。
- (4) ボルトのせん断抵抗および鋼材の引張抵抗（ダイヤフラム効果）によって、床スラブの相互目開き変位は、コッター部に接合筋を配さなくても著しく小さくすることが可能である。
- (5) コッターの支圧破壊以降、耐力は減少し、床スラブは単一パネルとしてのせん断抵抗を示すが、鉄骨フレームとの合成効果によって、耐力はそれ以上の低下は認められない。

#### 参考文献

- (1) D.Pune: Load-Bearing Capacity and Deformability of Joints Under Shear and Compression, Proceedings of the RILEM-CEB-CIB Symposium of "Mechanical Properties of Joints of PRC Elements.", 1978
- (2) 壁式プレキャスト構造の鉛直接合部の挙動と設計法、日本建築学会、1989年4月