

鉄筋コンクリート造フラットプレートのパンチング補強

Punching-Shear-Reinforcing Method for Reinforced Concrete Flat Plate Structures

鈴木 紀雄
井上 貴之
加藤 友康

要 約

梁がなく、柱とスラブだけで構成されるフラットプレート架構は、建築計画上の自由度が高い構造形式として注目されているが、柱まわりにおけるスラブのパンチング破壊の発生が懸念される。そこで、これを防止する施工性のよい補強方法として、両側に135度フックをもつ面外のせん断補強筋と、コ形のねじれ補強筋を考案し、構造実験によってその効果を確認した。

実験の結果、ねじれ補強筋の有無による復元力特性の違いは小さかった。一方、せん断補強筋を入れた試験体の耐力や靱性は、無補強の試験体に比べると著しく向上し、考案した補強方法が有効であることが分かった。

目 次

- I. はじめに
- II. 補強方法
- III. 実験方法
- IV. 実験結果
- V. おわりに

I. はじめに

梁がなく、スラブが柱に直接結びつけられているフラットスラブ構造には、建築計画や設備計画上の自由度が大きいという利点があるが、柱周りのスラブがパンチングに弱いという性質がある。このため、従来のフラットスラブでは、柱の頭部にキャピタルや支板を設けたり、スラブ厚さを増すことによってパンチング破壊を防止し、構造安全性を確保している。

しかし、近年、フリープラン住宅の躯体として、また施工合理化の観点から、キャピタルや支板のないフラットプレートに対するニーズが高まっている。筆者らは既に、柱周りのスラブ筋にスターラップ形式のせん断補強筋を施すことにより、パンチング破壊を防止して変形能力を高められることを実験により確認し¹⁾、実建物に適用した。今回、スターラップ形式の補強筋よりも施工が容易で同等の補強性能が期待されるパンチング破壊に対する補強法を考案し、その効果を実験で確認した。

II. 補強方法

長期荷重と地震力によって生じるパンチング破壊は、Fig.1(a)のような柱前後面の面外せん断破壊と、Fig.1(b)のような柱左右のねじれ破壊が複合して生じる。

せん断補強筋は破壊面を横切るとともに、破壊面の上下の領域に着実に定着されていなくてはならない。また、地震時にスラブが正負の繰り返し曲げを受けると、かぶりコンクリートが剥落し、スラブ筋とコンクリートの一体性が失われることになるので、補強筋は

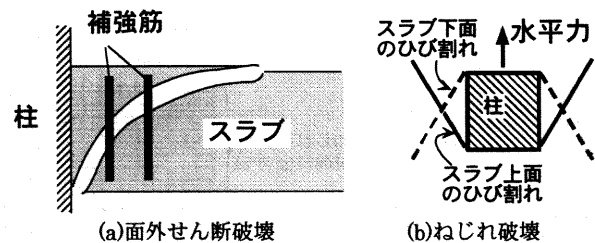


Fig.1 パンチング破壊

(Punching Failure of Flat Plate)

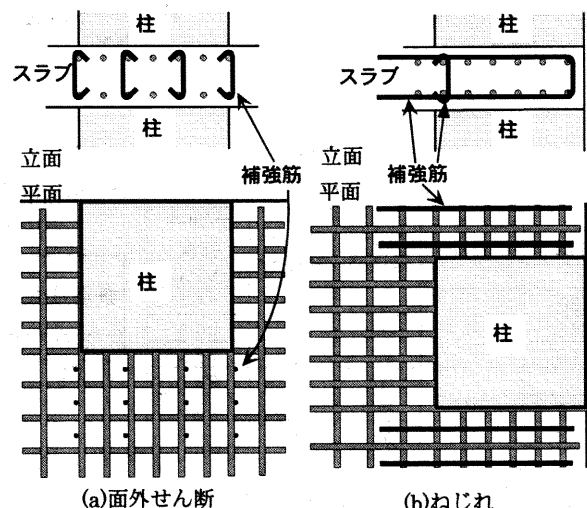


Fig.2 パンチング補強法

(Punching Shear Reinforcing Method)

上端と下端のスラブ筋を拘束することが望ましい。

ねじれに対しても、補強筋はねじれひび割れを横切るように入れることが必要となる。

このような要求事項を満たし、施工上の問題が少ない方法として、Fig.2に示す二つの補強筋を考案した。

- ① せん断補強：上下に135度の折り曲げフックを付けた鉄筋を用いる。閉鎖型のスターラップに比べ、スラブ筋を折り曲げ部に

キーワード：鉄筋コンクリート構造、フラットプレート、パンチング破壊、せん断補強、ねじれ補強

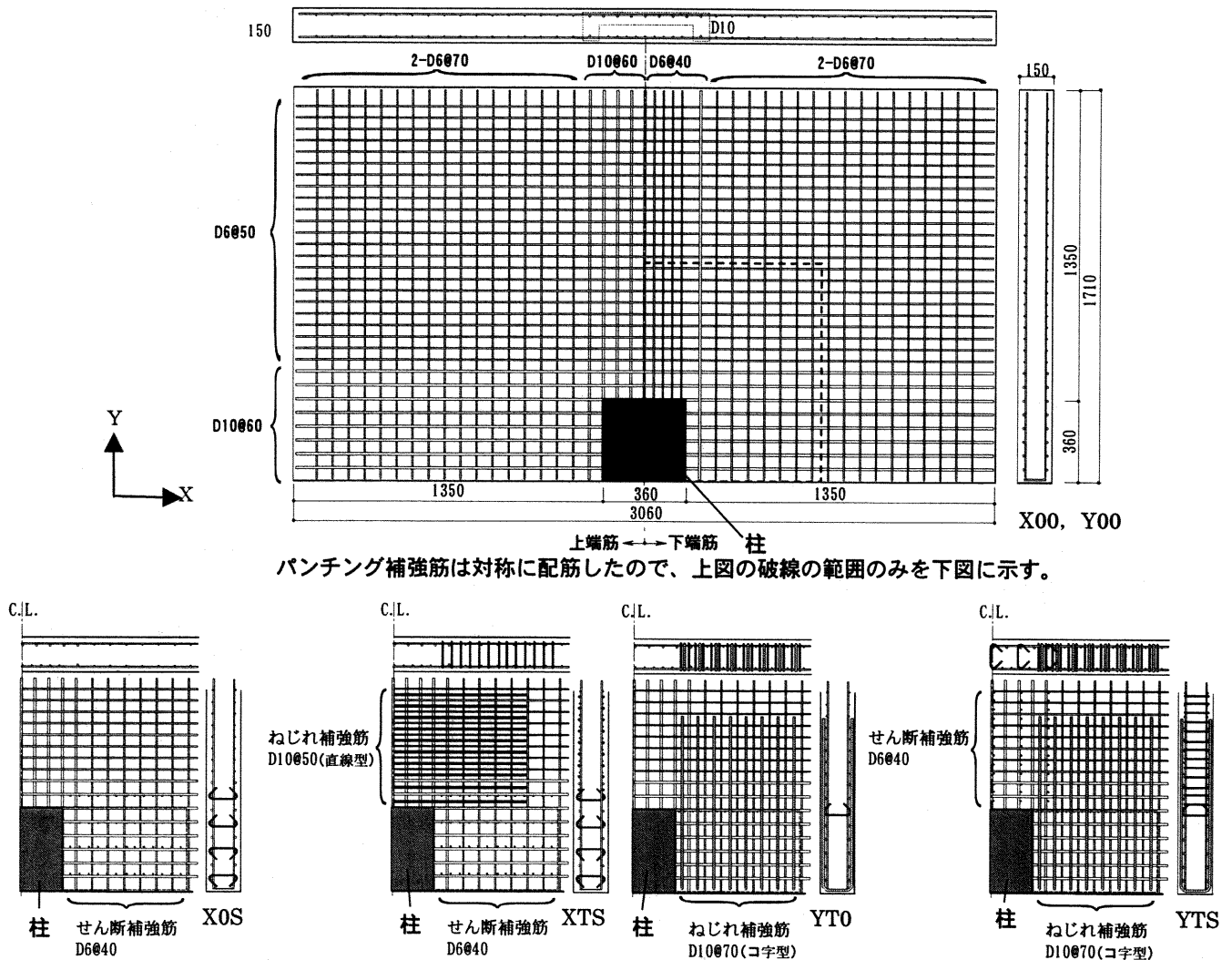


Fig.3 試験体
(Test Specimens)

Table 1 試験体
(Test Specimens)

試験体名	加力方向	ねじれ補強筋	せん断補強筋	コンクリート強度 (MPa)
X00	X	なし	なし	28.7
X0S		なし	あり	30.8
XTS		あり	あり	29.9
Y00	Y	なし	なし	22.1
YTO		あり	なし	23.8
YTS		あり	あり	24.2

Table 2 鉄筋の材料特性
(Mechanical Properties of Bars)

鉄筋種類	降伏強度 (MPa)
D10	438.6
D6	447.3

入れることは容易である。また、スラブ筋に掛けることにより、着実な定着とスラブ筋の拘束を実現することができる。

- ② ねじれ補強筋：外柱の左右にコ字型の鉄筋を差し込むとともに、閉鎖型の形状とするため、せん断補強筋と同一形状の鉄筋を内側のスラブ筋に掛ける。

III. 実験方法

1. 試験体

Fig.3 に示すような、外柱－スラブ接合部を対象とした、縮尺 1/2.5 の試験体を製作した。パラメータは、①加力方向：長手を X 方向、短手を Y 方向とする、②せん断補強筋の有無、③ねじれ補強

筋の有無とし、Table 1 に示すような 6 体とした。既往の研究より、X 方向では加力方向に対して柱前後面の面外せん断破壊が支配的であり、Y 方向では柱左右のねじれ破壊が支配的と考えられた。そこで、せん断補強筋とねじれ補強筋の片方のみを入れるときには、X 方向加力試験体ではせん断補強筋を、Y 方向加力試験体ではねじれ補強筋を入れることにした。X 方向加力に対するねじれに対しては、Fig.2 のようなコ字型の補強筋を入れることができないので、Fig.3 に示す試験体 XTS のように直線状の鉄筋をスラブ筋の間に入れる形とした。

柱には多めの主筋とせん断補強筋を入れ、さらに軸力を加えることによって弾性範囲に留まるようにした。

使用した材料の特性は Table 1 と Table 2 に示す。

2. 加力方法

Fig.4 に X 方向加力と Y 方向加力の加力方法を示す。X 方向加力試験体では、スラブの両端をピンローラー支持し、柱の上下端に地震力を想定した水平力を加えた。Y 方向加力試験体では、柱をピンローラー支持とし、スラブの先端を剛強な鋼材で挟み込んで地震力を想定した鉛直方向の力を加えた。

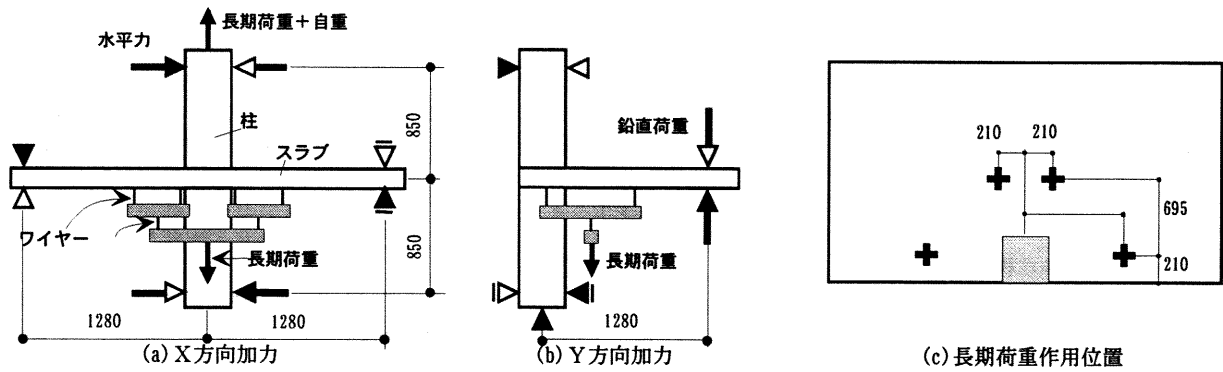


Fig. 4 加力方法
(Loading Method)

いずれの試験体でも、パンチング強度算定断面（柱面からスラブの有効厚さの1/2離れた鉛直断面）で 0.5N/mm^2 となる長期荷重を想定した鉛直力をスラブの4点に加えた。ワイヤーと球座を用いたトーナメント方式とし、4点の力が等しくなるようにした。実際の建物と同じ応力状態にするため、X方向試験体では柱に自重を打ち消す荷重と長期軸力の反力を鉛直上向きに加え、Y方向加力試験体は、柱下面で試験体を支持した。

層間変形角で1/400を1サイクル、1/200、1/100、1/50、1/25をそれぞれ2サイクル加え、最終的には1/10まで加力した。

IV. 実験結果

1. X方向加力試験体

(1) 荷重-変形関係と破壊経過

Fig. 5にX方向加力試験体の荷重-変形関係の包絡線を示す。無補強のX00は層間変形角1/50を2サイクル加えた後、1/25に向かう途

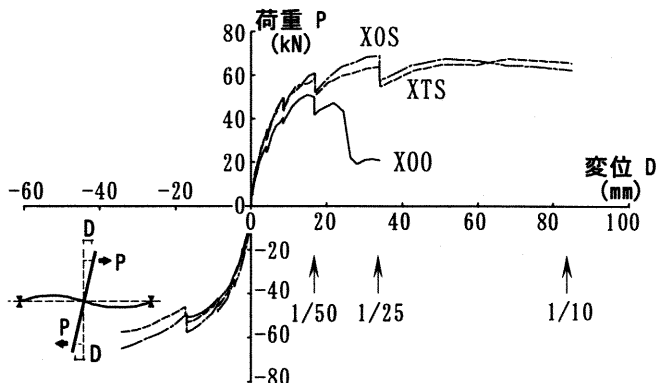


Fig. 5 X方向加力試験体の荷重-変形関係
(Load-deformation Relationships of Specimens
Subjected to X-direction Load)

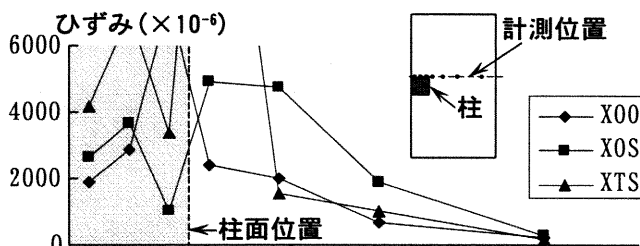


Fig. 6 X方向加力試験体のスラブ筋の歪
(Strain of Slab Reinforcement of Specimens
Subjected to X-direction Load)

中でパンチング破壊し、急激に耐力を失った。せん断補強筋を施したX0Sは、最大耐力がX00より高くなり、層間変形角が1/10に達してもパンチング破壊は発生せず、耐力を保持した。また、ねじれ補強筋を追加したXTSも層間変形角が1/10までパンチング破壊せず、荷重-変形関係はX0Sとほぼ同じとなった。

(2) 鉄筋の歪

Fig. 6に、3体ともパンチング破壊していない層間変形角1/50の時点における、柱面位置で測定した加力方向のスラブ上端筋の歪分布を示す。X0SとXTSの荷重はほぼ同じであるが、柱面から離れたスラブ筋の歪はX0Sの方が大きくなっている。既往の研究²⁾で指摘されているようにスラブ筋はねじれに対しても抵抗するので、ねじれ補強筋があるXTSの方がスラブ筋の歪が小さくなったと考えられる。

Fig. 7に、層間変形角1/10におけるX0SとXTSのせん断補強筋の歪分布を示す。どちらも柱に近づくに従って歪が大きくなり、柱に最も近い補強筋では降伏歪の1/2以上の値を示していることから、せん

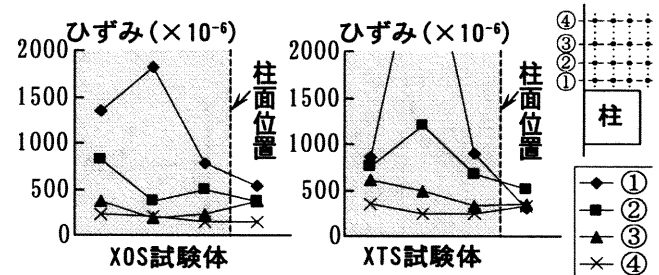


Fig. 7 X方向加力試験体のせん断補強筋の歪
(Strain of Shear Reinforcement of Specimens
Subjected to X-direction Load)

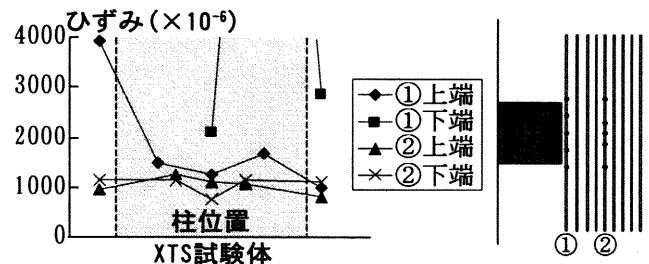


Fig. 8 X方向加力試験体のねじれ補強筋の歪
(Strain of Torsional Reinforcement of Specimens
Subjected to X-direction Load)

断補強として有効に機能していることが分かる。

Fig. 8に、層間変形角1/10におけるXTSのねじれ補強筋の歪を示す。柱面から20cm離れた②列目の歪は、通常の曲げ筋の歪とは異なり、上端と下端でほぼ同じ値になっていることから、ねじれ抵抗の機能を果たしていると考えられる。

2. Y方向加力試験体

(1) 荷重－変形関係と破壊経過

Fig. 9に示すY方向試験体の荷重－変形関係の包絡線には長期荷重の影響が顕著に現れ、スラブ端に加えた鉛直力が下向きとなる正方向加力時の方が負方向加力時よりも耐力が小さくなっている。

無補強のY00は、層間変形角1/50の加力中にパンチング破壊し、耐力を失った。ねじれ補強筋を入れたYT0では、正方向加力時の最大耐力がY00より高くなり、層間変形角1/25に向かう途中でパンチング破壊したが、耐力低下はY00より緩やかであった。せん断補強筋も入れたYTSでは、正方向加力時の最大耐力がさらに高くなり、1/10の層間変形角に至るまでパンチング破壊は生じないで、最大耐力の2/3程度を保持した。一方、負方向加力時では、3体の試験体の最大耐力の違いは、正方向加力時に比べて小さかった。

(2) 鉄筋のひずみ分布

Fig. 10に、3体ともパンチング破壊していない層間変形角1/50の時点における、柱面位置で測定した加力方向のスラブ上端筋の歪分布を示す。無補強のY00のスラブ筋の歪は、ねじれ補強筋を入れたYT0とYTSの2倍程度になっている。

Fig. 11にはYT0とYTSのねじれ補強筋の上端引張り時の歪を示すが、上端部分の引張り歪が大きくなっている。前述のスラブ筋の歪

分布も合わせると、ねじれ補強筋が曲げ補強としても機能していると考えられる。

Fig. 12は、層間変形角1/10におけるYTSのせん断補強筋のひずみ分布を示す。柱に近い①列目と②列目の歪は降伏歪の1/2程度になっており、面外のせん断に抵抗していることが分かる。

VI. おわりに

フラットプレートのパンチング破壊に対する補強法を考案し、その効果を確認する実験を行った。その結果、次のことが分かった。

- 1) X方向水平力に対するねじれ補強筋は、耐力や変形能力の向上には寄与しなかったが、Y方向水平力に対しては、耐力と変形能力を若干向上させる。
- 2) せん断補強筋は、長期荷重とX方向およびY方向の水平力に対して、パンチング破壊を防止し、耐力と変形能力を向上させる働きがある。

以上より、両端に135度フックを付けたせん断補強筋は、施工が容易であり、パンチングに対する補強効果が高いことを確認できた。

参考文献

- 1) 鈴木他：鉄筋コンクリート造柱－フラットスラブ接合部のせん断補強効果に関する実験的研究，JCI 年次論文報告集，Vol.21，(1999)，pp.547-552.
- 2) 金他：フラットプレート構造の柱・スラブ接合部のねじりモーメントの評価，日本建築学会大会学術講演梗概集，(1996)，pp.129-130.

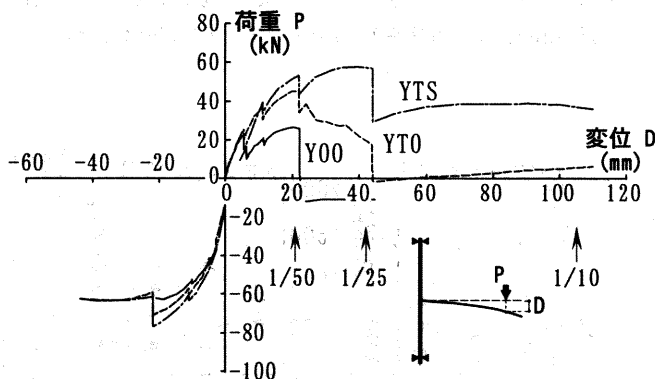


Fig. 9 Y方向加力試験体の荷重－変形関係
(Load-deformation Relationships of Specimens
Subjected to Y-direction Load)

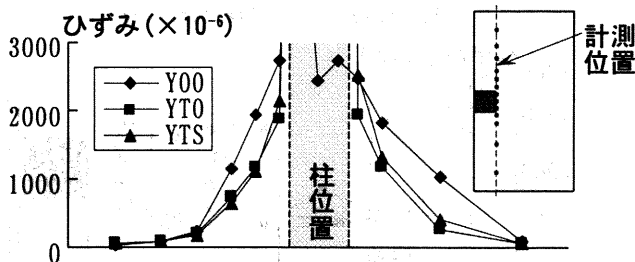


Fig. 10 Y方向加力試験体のスラブ筋の歪
(Strain of Slab Reinforcement of Specimens
Subjected to Y-direction Load)

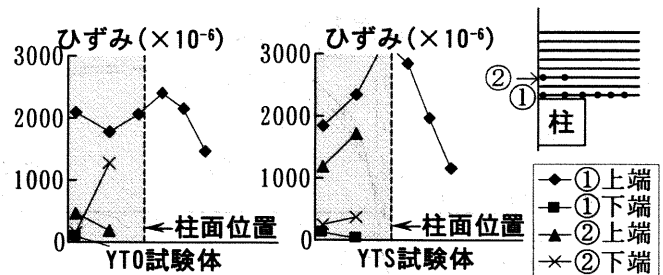


Fig. 11 Y方向加力試験体のねじれ補強筋の歪
(Strain of Torsional Reinforcement of Specimens
Subjected to X-direction Load)

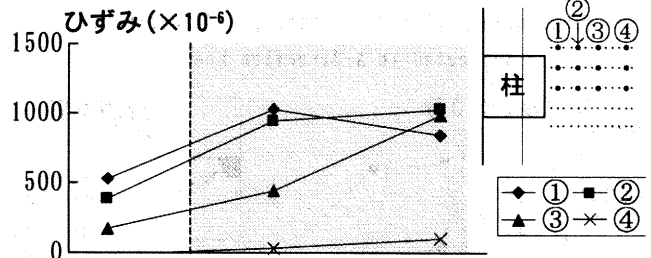


Fig. 12 Y方向加力試験体のせん断補強筋の歪
(Strain of Shear Reinforcement of Specimens
Subjected to Y-direction Load)