

上方への载荷による 床版の押し抜きせん断実験法と各供試体の耐力評価

Punching shear experiment method of floor slabs by upward loading and method to prove stress of each test pieces

(株)砂子組 ○正員 田中 孝宏 (Takahiro Tanaka)
札幌開発建設部 千歳道路事務所 非会員 新保 貴広 (Takahiro Sinbo)
(株)砂子組 正員 川村 正之 (Masayuki Kawamura)
(株)砂子組 正員 近藤 里史 (Satoshi Kondo)
(株)砂子組 正員 佐藤 昌志 (Masashi Sato)

1. はじめに

従来の押し抜きせん断平板載荷試験は、下方へジャッキ等で荷重をかけ押し抜くものである(図-1)。この方法は最も現実に即したものであるが、以下のような問題もあった。

1) 最大 100 tf オーダーの荷重を上方からかけた状態で、供試体下部に潜って作業する事の実際の危険度は高く、クラック進展過程を詳細に観察する事が難しかった。

2) 同様な理由から、破壊過程をビデオ等に収める事も困難であった。

3) 下面(下鉄筋側)に模擬クラック等を入れた供試体を製作する事は可能であったが、試験機に供試体をセットする工数が無視できないものとなった。

以上の理由から上方へ载荷する押し抜きせん断平板載荷試験機を製作した(図-2)。その際問題になるのは、供試体自重が現実とは逆方向に作用する事であるが、このような載荷試験では、自重の影響は事実上無視できると考えられる。

試作機で各種供試体の載荷試験を行う過程で、詳細なクラック進展状況の把握が可能となり、耐力評価も可能だったので、ここに報告するものである。

2. 試験機概要

製作した試験機は H300×300×10×15 の鋼材で組み立て、200 tf、ストローク 20 cm のジャッキを用いた。供試体は両翼を H300 で挟んでボルトで固定し、平面図(図-4)の縦幅 2500 mm は、該当現場の床桁間隔を模している。ジャッキには、500×250 mm の輪荷重を想定した鋼製載荷板を持たせた。

供試体は図-2 にあるように、上鉄筋と下鉄筋を逆転させた配置で製作し、そのままバックフォーで吊りあげ試験機にセットした。

3. 実験ケース

表-1 に実験ケースを示す。供試体は全部で 6 種類あり、Case-1~3 および 6 はプレーンコンクリートで、Case-4, 5 は有機繊維を混入した補強コンクリートである。該当現場は過去の示方書に基づいた設計で、配力筋が現在の約半分となっていたため(標準配筋)、Case-3 では配力筋を追加した。

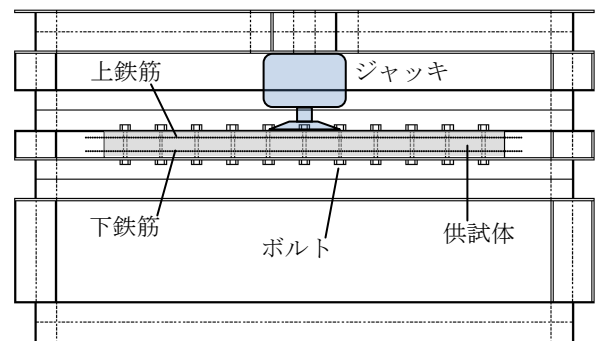


図-1 従来の押し抜き平板載荷試験

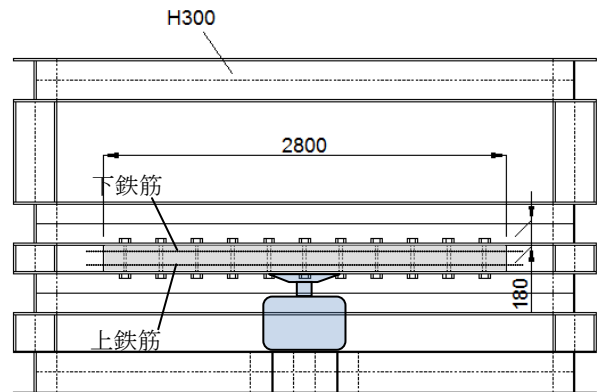


図-2 試験機(立面図)

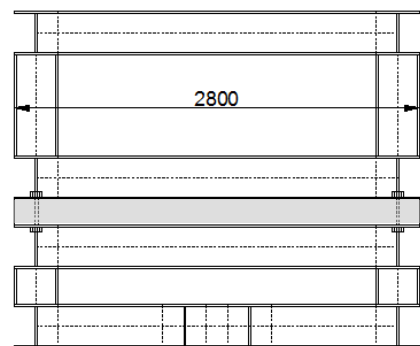


図-3 試験機(側面図)

Case-2 は、標準配筋プレーンコンクリートに格子状の模擬クラックを入れたもので(図-5)、Case-6 はそれをさらにカーボンで補強したものである(図-6)。

4. ひび割れ進展状況

図-7 に最も典型的と考えられる、Case-1 におけるひび割れ進展状況を示す。

ジャッキ荷重 0~200 kN の間は、中央部からほぼ放射状にクラックは進展し、200~350 kN ではそれらをつなぐようにクラックが発生する。

400 kN 以上で中央部を囲む黒線から周辺部に向かってひび割れ、最終的に 550 kN で上記の黒線の範囲で押し抜かれた。

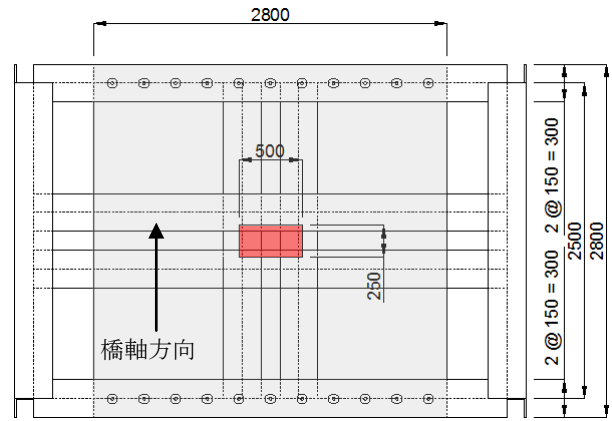
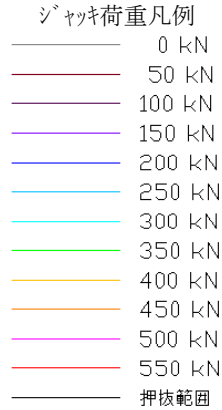


図-4 試験機 (平面図)

以上の状況は配力筋を追加した Case-3, 有機系繊維で補強した Case-4, 5 でも、最終的な耐力に相違はあるものの同様である (図-8)。また鉄筋量の追加やコンクリートの耐力増加により、作用力がより広く分散され、クラック密度が増える傾向にある。

なお模擬クラックを入れた Case-2 と 6 では、模擬クラックだけが開口して押し抜かれたので、ひび割れ図は割愛する。

5. 各供試体の耐力評価

図-9 に、全実験ケースの載荷時における平板中央変位とジャッキ荷重の関係 (P-δ 曲線) を示す。

図中の黒点線は、ジャッキ荷重に対して中央変位がほぼ線形に挙動していると考えられる範囲を示し、P-δ 曲線が歪み軟化を示した時点をも、実験による押し抜きせん断耐力とした。

図中赤点線は、コンクリート標準示方書設計編¹⁾の押し抜きせん断耐力推定式によるもので、以下となる。

$$V_{pcd} = \beta_d \cdot \beta_p \cdot \beta_\gamma \cdot f_{pcd} \cdot u_p \cdot d / \gamma_b \quad (\text{式 } 1)$$

ここに、

$$f_{pcd} = 0.19 \sqrt{f'_{cd}} \quad (\text{N/mm}^2)$$

$$\beta_d = (1000/d)^{1/4}, \quad \beta_d > 1.5 \text{ では } \beta_d = 1.5.$$

$$\beta_p = (100p)^{1/3}, \quad \beta_p > 1.5 \text{ では } \beta_p = 1.5.$$

$$\beta_\gamma = 1 + 1/(1 + 0.25 u/d)$$

- f'_{cd} : コンクリートの設計圧縮強度 (N/mm²)
- u : 載荷面の周長 (mm)
- u_p : 設計断面の周長で、載荷面から $d/2$ 離れた位置で算定する。
- d : 有効高 (mm)
- p : 二方向の鉄筋の鉄筋比の平均。
- γ_b : 1.3

Case-1, 2, 3 については、ほぼコンクリート標準示方書の通りの押し抜きせん断耐力となるが、Case-3 は Case-1, 2 と比較して、約 20% 耐力が大きい。これは、配力筋を追加した効果であり、推定式の予想と一致する。

表-1 実験ケース

ケース	鉄筋	コンクリート	疑似クラック	補強
Case-1	標準配筋	プレーン	無	無
Case-2	標準配筋	プレーン	有	無
Case-3	配力筋追加	プレーン	無	無
Case-4	標準配筋	ビニロン繊維入	無	無
Case-5	標準配筋	クラックバスター入	無	無
Case-6	標準配筋	プレーン	有	カーボン繊維



図-5 Case-2



図-6 Case-6

有機系繊維補強を行った Case-4, 5 では、ビニロン繊維の場合 20%、クラックバスターでは 10% の耐力増加がみられた。

Case-6 では、模擬クラックを入れたにも関わらず、炭素繊維補強で約 30% の耐力増加となった。

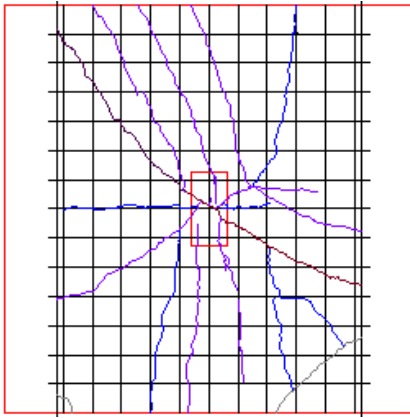


図-7-(a) Case-1 0~200 kN

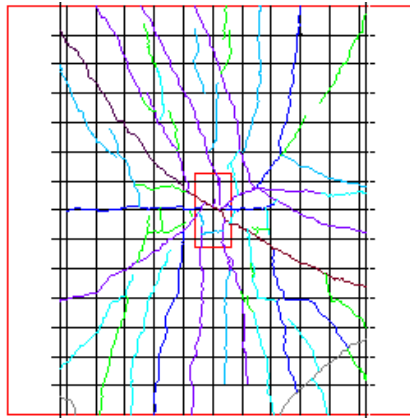


図-7-(b) Case-1 200~350 kN

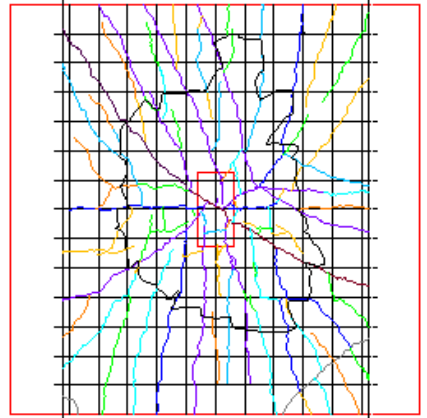


図-7-(c) Case-1 350~550 kN

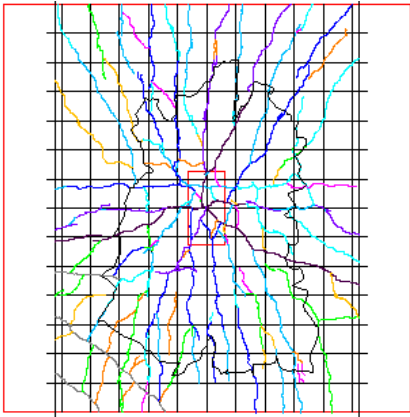


図-8-(a) Case-3

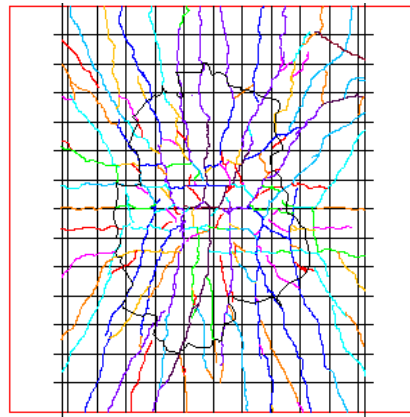


図-8-(b) Case-4

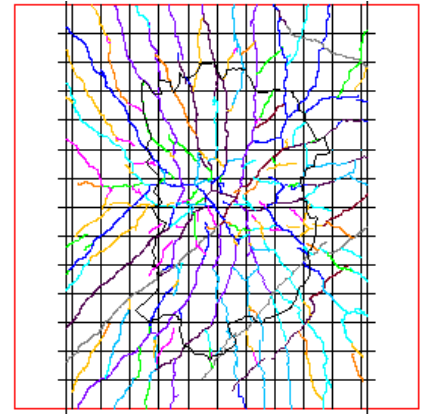


図-8-(c) Case-5

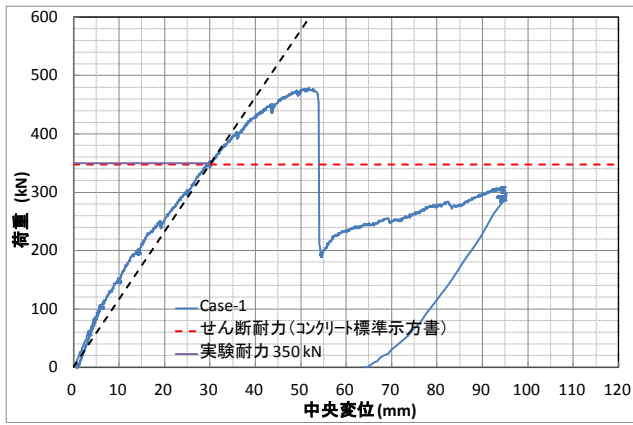


図-9-(a) P- δ Case-1

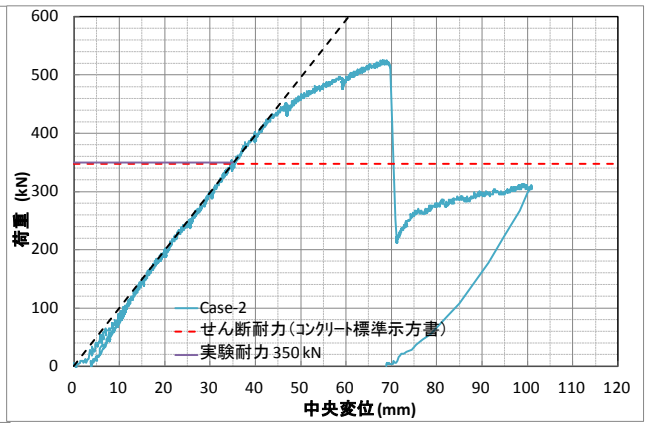


図-9-(b) P- δ Case-2

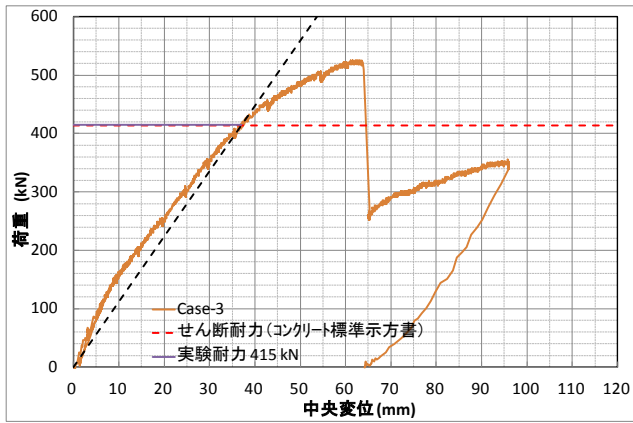


図-9-(c) P- δ Case-3

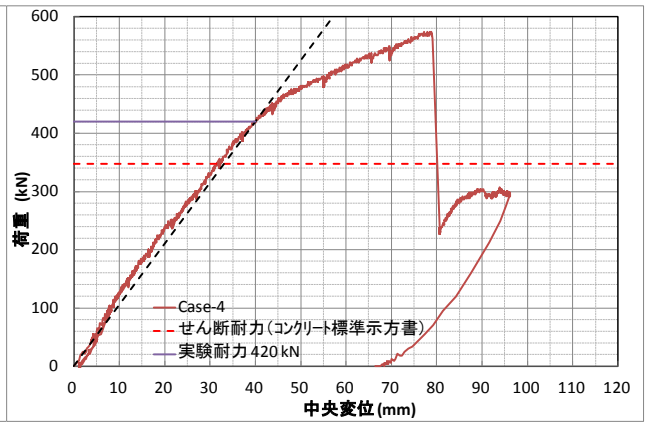


図-9-(d) P- δ Case-4

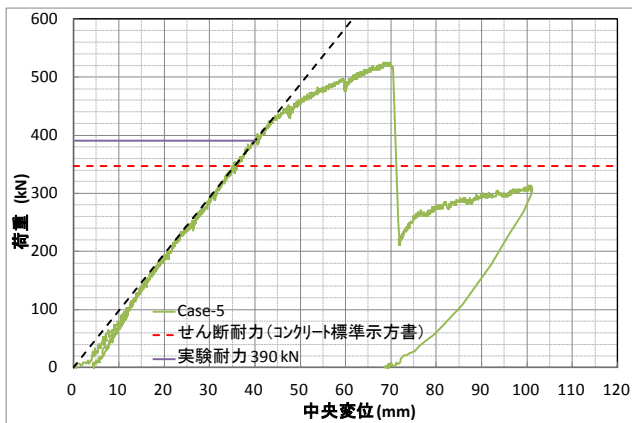


図-9-(e) P- δ Case-5

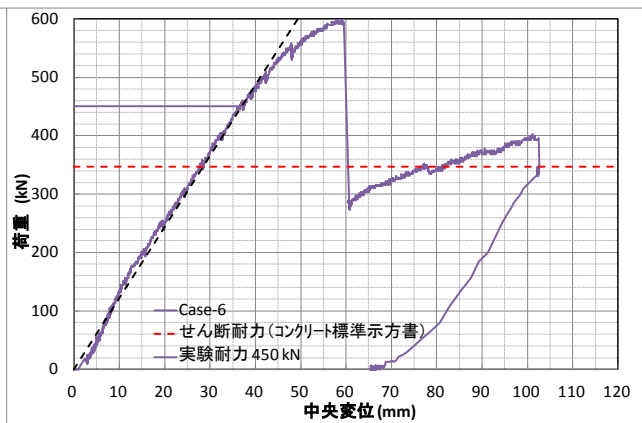


図-9-(f) P- δ Case-6

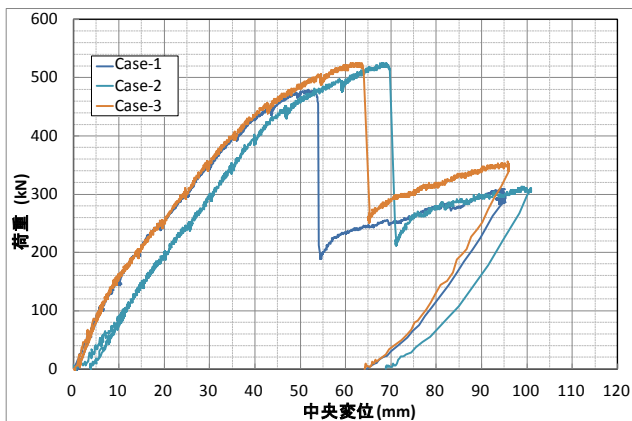


図-10-(a) Case-1~3

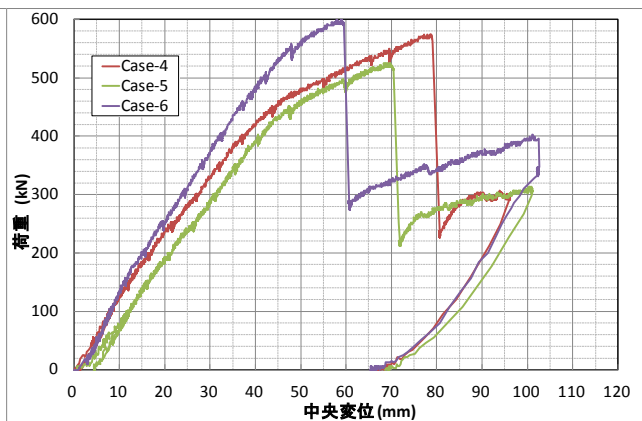


図-10-(b) Case-4~6

図-10 に、無補強のケースと補強したケースをまとめて示す。ここで注目されるのは、無補強・標準配筋・模擬クラック有りの Case-2 で、押し抜きせん断耐力は無補強・標準配筋の Case-1 と変わらないものの、終局耐力と終局変位は無補強で配力筋を追加した Case-3 と同程度ある事である。補強したケースはいずれも標準配筋で、耐力は明らかに無補強よりも高く、終局変位も配力筋追加ケースと同程度である。ただし炭素繊維補強・模擬クラック有りの Case-6 のみ、耐力は全てのケースで最も高いにも関わらず、終局変位は無補強・標準配筋の Case-1 程度まで下がっている事に注目できる。

最後に荷重板の押し抜き状況を、図-11 に示す。供試体は、非常にきれいに押し抜かれた。

6. まとめ

ひび割れ進展状況を詳細に視覚化し、下鉄筋側に模擬クラックを入れた供試体に対して押し抜きせん断平板載荷試験を行うため、既往の試験機とは逆に上方への押し抜き載荷を行う試験機を試作した。

各種供試体に対する試験を実施した結果、十分実用に供しうるものと判断できる。またこれにより、従来余り実施されてこなかった、さまざまなタイプの供試体の試験も、より容易になると考えられる。

[参考文献]

- 1) コンクリート標準示方書，土木学会コンクリート委員会他，2013 年。

表-2 載荷試験結果（全ケース）

ケース	押し抜きせん断耐力(kN)	終局耐力(kN)	終局変位(mm)
Case-1	350	480	55
Case-2	350	520	70
Case-3	415	520	65
Case-4	420	570	80
Case-5	390	520	70
Case-6	450	600	60



図-11 荷重板の押し抜き状況