

(93) プレストレストコンクリート床版の押し抜き強度

山口大学 工学部 ○正会員 高海克彦
 株式会社 ピー・エス 正会員 阿部宗人
 同 上 正会員 野村貞広
 山口大学 工学部 正会員 浜田純夫

1. はじめに

床版には一般に鉄筋コンクリートが用いられるが、プレストレストコンクリート床版も、床版の補強および補修に対する架け替えにおいてはその強度の上昇が期待されて用いられている。つまり、元からある床版が損傷を受けたとき、架け替えの床版はより強度の高いものでなくてはならない。また、近年現場施工の省力化を目指してプレキャスト床版が用いられることもある。

プレキャスト床版はエレメントの長さ方向にはプレテンションのPC板となっており、その直角方向にはポストテンションのプレストレスを導入している。したがって、2方向のプレストレスとなる。特に走行方向にはプレストレスが必要で、これがなければ橋面の舗装にひび割れを生じさせ、決して良好な床版とはならない。

床版における損傷は結果的に押し抜きのなび割れが生じ、損傷に至っている。プレキャスト床版における強度評価に関してはほとんど研究がなされておらず、現行のコンクリート標準示方書にもプレストレスコンクリート床版の押し抜き強度は与えられていない。

本研究は、プレストレストコンクリート床版のそれ自体の、また床版接合部や自由縁を有するプレストレストコンクリート床版の押し抜き特性の把握とその強度評価を試みるものである。従来から鉄筋コンクリート床版とプレストレスト床版には深い関係があり、プレストレスト床版の押し抜き強度評価にあたり、鉄筋コンクリート床版そのものの押し抜き強度についても検討を行うと同時に、これらの算定式の適用性についても検討した。また、プレキャストプレストレスト床版は、必ず継ぎ目が存在し、この場合についても継ぎ目を有する鉄筋コンクリートスラブの耐力評価式から検討した。

2. PC床版の押し抜き試験

2.1 供試体

載荷試験は、図-1に示す3種類のスラブ供試体(PC S、PC J、PC F)各2体を表-1の配合で作

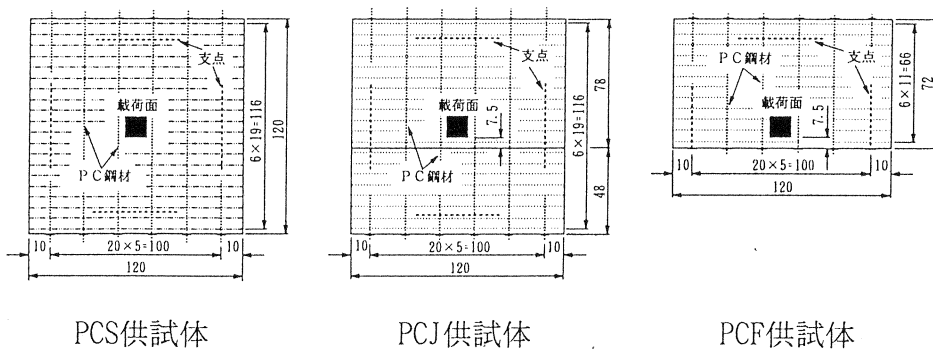


図-1 実験供試体

製して行った。供試体P C Sは一方方向にプレテンション方式で、他方向にポストテンション方式でプレストレスを導入した120cmx120cmの正方形スラブである。供試体P C Jは荷重近傍にスラブ打ち継ぎ目がある場合を想定したもので、プレテンション方式で作成した2つのスラブ(72cmx120cm、48cmx120cm)をポストテンションにより120x120cmのスラブに一体化したスラブである。また、供試体P C Fは荷重近傍に自由縁がある場合であり、長辺方向にプレテンション、短辺方向にポストテンションを導入した72cmx120cmのスラブである。いずれの供試体も、厚さは16cmである。供試体の導入プレストレス力は、プレテンション方式ではφ2.9のP C鋼線58本により有効プレストレス45.5kgf/cmを、ポストテンション方式ではφ17のP C鋼棒6本により有効プレストレス45.4kgf/cm²を導入した。配筋図の例として供試体P C Jの配筋図を図-2に示す。鉄筋はプレテンション鋼材と直角方向に配筋されている。

表-1 配合表

粗骨材の最大寸法 (mm)	スラブの範囲 (cm)	空気量 の範囲 (%)	水セメント比 W/C (%)	細骨材比 S/a (%)	単位量 (kg/m ³)				減水剤 (減水率) M
					水	セメント	細骨材	粗骨材	
20	6±1.5	2±1	36.3	42.0	156	430	747	1048	4.30

減水剤 マイテ、150

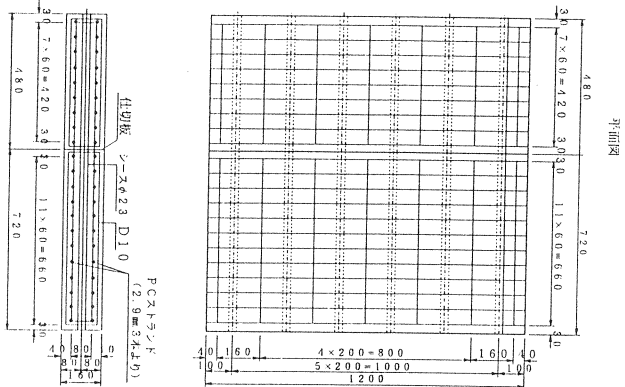


図-2 PCJの配筋図

2. 2 試験装置

荷重試験の支持条件は、供試体P C S、P C Jは2方向のスパン長をそれぞれ100cmとする4点単純支持、供試体P C Fではスパンを100cmとする3点単純支持で、端部の浮き上がり防止は設けず、支点は長さ80cmで支持辺の中央に設置した。荷重は、供試体P C SとP C Jではスラブ中央の集中荷重、供試体P C Fではスラブ端部から7.5cm離れた位置の集中荷重である。図-3に示す荷重装置において、荷重は厚さ1mmの硬質ゴムを介し、辺長10cm厚さ3cmの正方形鋼板を置いて荷重した。

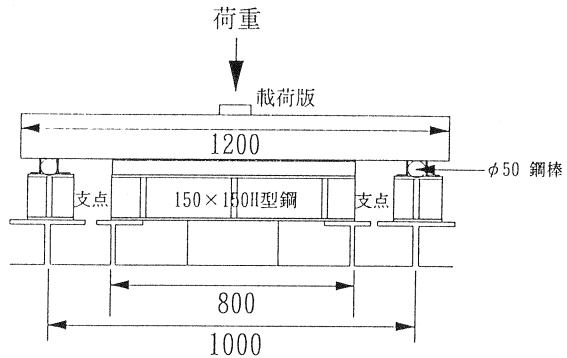


図-3 せん断試験荷重装置

2. 3 測定項目

測定項目は、スラブ中央の引張鉄筋のひずみ、スラブ各点における引張コンクリートのひずみ、スラブ中央(荷重版直下)のたわみ、ひび割れ性状、および破壊荷重である。

3. 実験結果

3. 1 破壊荷重と破壊形式

各供試体の破壊強度と破壊形式を表-2に示す。供試体P C S、P C Jでは押し抜きせん断破壊、供試体P C Fでは曲げが先行した押し抜きせん断破壊となった。

3. 2 ひび割れ状況

表-2 破壊強度と形式

No.	供試体名	コンクリート 圧縮強度 (kgf/cm ²)	破壊強度 Pa (tf)	破壊形式
1	PCS-1	722	62.0	押し抜きせん断
2	PCS-2	722	63.9	押し断きせん断
3	PCJ-1	722	52.2	押し抜きせん断
4	PCJ-2	722	50.6	押し抜きせん断
5	PCF-1	722	28.8	曲げ押し抜きせん断
6	PCF-2	722	27.3	曲げ押し抜きせん断

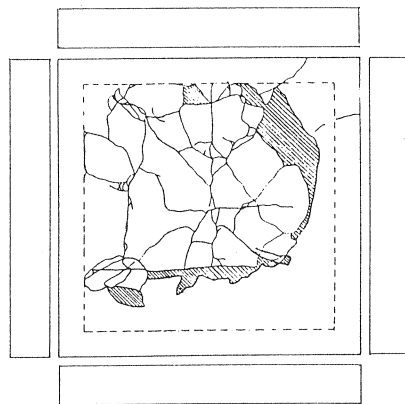


図-4 PCSひび割れ図

図-4, 5, 6に各供試体の破壊後の仮面のひび割れ図を示す。

供試体PCSでは、ひび割れは載荷点から支点に向かって進展するが、支点から外には進展していない。また、剥離は支点近傍で生じている。供試体PCJでは非載荷側のスラブにはほとんどひび割れが

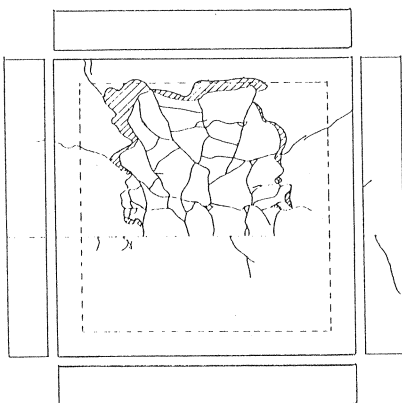


図-5 PCJひび割れ図

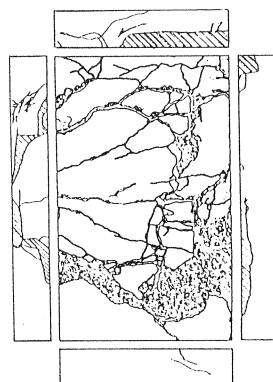


図-6 PCFひび割れ図

発生しておらず、コンクリートの剥離も起きていない。これは6本のPC鋼棒では終局時に置いて載荷側から非載荷側への荷重伝達が行われていない為と考えられる。供試体PCFのひび割れは、まずスパン中央に曲げひび割れが発生し、その後載荷点から支点にかけて放射状に進展している。破壊時には放射状のひび割れが支点近傍で連結して、コンクリート剥離が発生している。

3. 3 荷重-たわみ関係

各供試体の荷重たわみ関係を図-7, 8に示す。図-7から、荷重が小さいときには継ぎ目のある供試体PCJも一体型の供試体PCSと同様のたわみ増加を示し、剛性はほぼ等しいと見なせるが、終局時には継ぎ目の影響が現れている。また供試体PCFでは荷重初期よりたわみ増加が大きく、破壊時のたわみは4辺支持の供試体より大きくなっている。

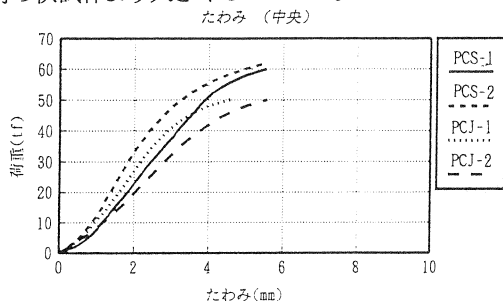


図-7 荷重たわみ図 (PCS, PCJ)

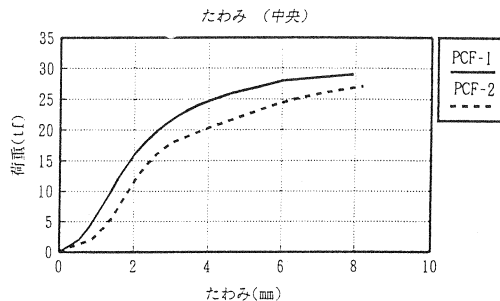


図-8 荷重たわみ図 (PCF)

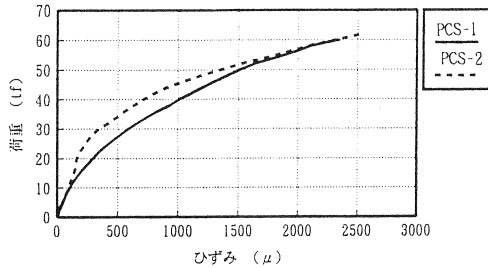


図-9 荷重鉄筋ひずみ図(中央)

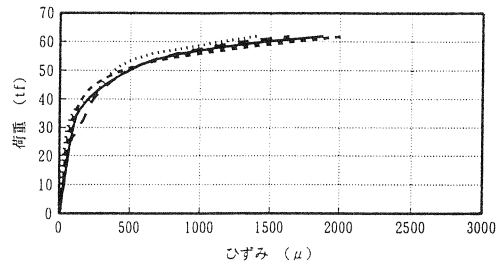


図-10 荷重鉄筋ひずみ図(20cm離れ)

3. 4 荷重-引張鉄筋ひずみ

図-9, 10に供試体PCSの荷重直下および中央から20cm離れた点の鉄筋ひずみと荷重との関係を示す。荷重直下では載荷直後からひずみは徐々に増加し、また20cm離れた点において荷重初期時にはひずみ増加は小さいが、荷重が大きくなるとひずみ増加が著しくなる。しかし、破壊前に置いては鉄筋の降伏はみられなかった。

4. せん断耐力の検討

プレストレストコンクリートスラブの押し抜き耐力に関する算定式は現在までほとんど提案されていないばかりか、実験もほとんど行われていない。そこで、鉄筋コンクリートスラブの押し抜き耐力式と対比しながら検討する。コンクリート標準示方書では、押し抜き耐力は次式で与えられる。

$$V_{pcd} = \beta_d \beta_p \beta_r f_{pcd} u_p d / \gamma_b \quad (1)$$

ここに、 $f_{pcd} = 0.6 \sqrt{f'_{cd}}$

$\beta_d = \sqrt[4]{100/d}$ ただし、 $\beta_d > 1.5$ となる場合は 1.5 とする

$\beta_p = \sqrt[3]{100p}$ ただし、 $\beta_p > 1.5$ となる場合は 1.5 とする

$\beta_r = 1 + 1 / (1 + 0.25u/d)$

f'_{cd} : コンクリートの設計圧縮強度(kgf/cm²) u : 載荷面の周長(cm)

u_p : 設計断面の周長で、載荷面からd/2離れた位置で計算するものとする(cm)

d : 有効高さ(cm) p : 鉄筋比 γ_b : 材料係数

この示方書の式は従来の実験結果と比較すると必ずしも良い結果を与えていない。そこで筆者らは示方書の式を改良した結果、式(2)を得た。

$$V_{pcd} = \beta_d \beta_p \beta_r f_{pcd} u_p d / \gamma_b \quad (2)$$

ここに、 $f_{pcd} = 2.17 \sqrt[3]{f'_{cc}}$

$\beta_d = \sqrt[4]{100/d} / (1 + d/20)$

$\beta_p = \sqrt[3]{100p}$

$\beta_r = 1 + 1 / (1 + 0.25u/d)$

式(1)と式(2)で実験結果と比較すると、図-11のようにヒストグラムが得られ、それぞれ、ばらつきの変動係数は式(1)に対し18.61%、式(2)に対し10.64%が得られる。

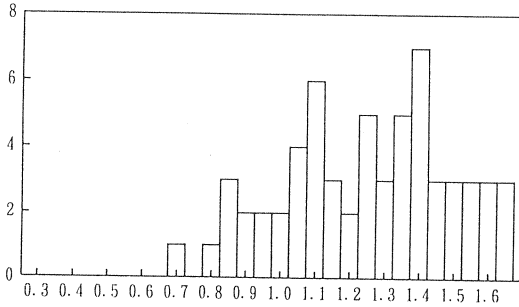


図-1 1 (a)示方書ヒストグラム

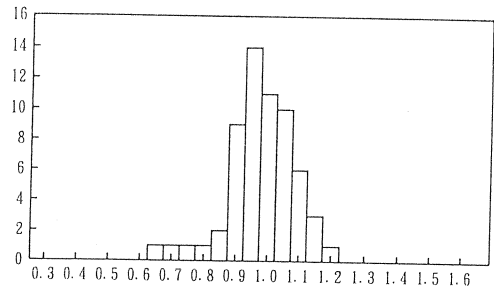


図-1 1 (b)改良式ヒストグラム

一方、角田および松井らはそれぞれ、押し抜き耐力式として式(3)および(4)を提案している。

$$P = 0.674(b_0 + 3\pi d)d\sqrt{\sigma_{ck}} \left(1 + 0.5p\sigma_{sy} / \sqrt{\sigma_{ck}} \right) / \left(1 + d/20 \right) \quad (3)$$

ただし、 $p\sigma_{sy} / \sqrt{\sigma_{ck}} > 3.33$ のとき $p\sigma_{sy} / \sqrt{\sigma_{ck}} = 3.33$ とする

ここに、 b_0 : 載荷板周長(cm)、 d : 有効高さ(cm)、 σ_{ck} : コンクリートの圧縮強度(kgf/cm²)
 p : 鉄筋比、 σ_{sy} : 鉄筋の降伏応力度(kgf/m²)

$$P = \tau_{s,max} \left\{ 2(a + 2x_m)x_d + 2(b + 2x_d)x_m \right\} + \sigma_{t,max} \left\{ 2(4C_d + 2d_d + b)C_m + 2(a + 2d_m)C_d \right\} \quad (4)$$

ここに、 a 、 b : 載荷板の主鉄筋方向、配力鉄筋方向の辺長(cm)、
 x_m 、 x_d : 主鉄筋および配力鉄筋に直角な断面の引張コンクリートを無視した断面の中立深さ(cm)
 d_m 、 d_d : 主鉄筋および配力鉄筋の有効高さ(cm)
 C_m 、 C_d : 主鉄筋および配力鉄筋からのかぶり厚さ(cm)
 $\tau_{s,max}$ 、 $\sigma_{t,max}$: コンクリートの最大せん断応力度、最大引張応力度(kgf/cm²)

これらの式も実験値に比較的好く合う結果を得ている。

プレストレストコンクリートスラブの押し抜き耐力に関する算定式は前述したように特に示されていないが、コンクリート標準示方書¹⁾、角田²⁾、松井³⁾、および浜田の提案式⁴⁾をそのまま適用することにする。ただし、有効高さ d は鉄筋までの距離とし、P C 鋼棒の位置を用いないこととする。また、角田の式においては $p\sigma_{sy}$ の項があるが、 $p\sigma_{sy}$ は鉄筋とP C 鋼棒を独立に計算することとした。その結果を、表-3に示す。ここで、供試体P C Jは継ぎ目を有する供試体で、浜田らは周長に関し次式を提案している。

表-3 耐力算定値

供試体名	破壊強度 (tof)	平均破壊強度 (tof)	算定耐力 (tonf)			
			示方書	角田	松井	浜田
PCS-1 PCS-2	62.0 63.9	63.0	39.6	58.4	52.8	67.1
PCJ-1 PCJ-2	52.2 50.6	51.4	---	---	---	56.3
PCN-1 PCF-2	28.8 27.3	28.1	28.7	---	---	29.1

$$u_p = 2a + b + 2s + \pi d / 2 + (b + d) \left(0.052 + 6.352 \frac{pd}{L} \right) \quad (5)$$

ここに、 s : 載荷板から継ぎ目までの距離(cm)、 L : スパン長(cm)

さらに、自由縁を有する供試体に対し、示方書および浜田らの周長 u_p は次のように与えられている。

$$u_p = 2a + b + \frac{\pi d}{2} + 2k \quad (6)$$

$$u_p = (2a + 2b + \pi d)(0.371 + 7.01 \frac{kd}{L^2}) \quad (7)$$

ここに、k：載荷板から自由縁までの距離(cm)

これらの式を用いて表-3は算定されたものである。その結果、角田らの提案式はやや低めの計算結果を与えるものであるが、実験値に近い値を与えている。一方、浜田らも近い値となるもののやや大きめの結果となっている。しかしながら、継ぎ目を有する供試体および自由縁を供試体の提案式においても、ほぼ近似の値を示している。本来、せん断強度および引張強度はコンクリート強度が上昇しても必ずしも上昇するとは限らず、ある意味では頭打ちとなる。本供試体のコンクリート強度が 722kgf/cm^2 と大きかったため、提案式におけるせん断強度の項が大きく評価されているものと考えられる。

継ぎ目を有する供試体の押し抜き強度の評価式が全くといって良いほど見あたらないが、著者の行った評価はPCスラブにもほぼ適用できるように考えられよう。ただし、継ぎ目を有する供試体においては、周長そのものが一体型のスラブより小さくなることは十分注意を要する。

5. おわりに

本論文は、従来ほとんど研究のなされなかったプレキャストプレストレスト床版に関し、一体型はもとより、継ぎ目部がある場合および自由縁を有する場合について載荷実験を行い、そのせん断特性を纏めるとともに、強度評価について検討したものである。プレストレスト床版の強度評価式に関しては、式中のdの項をどのように採るかにもよるが、筆者らの提案式は継ぎ目を有するスラブに関しても実験値に近い値を得た。

従来RCスラブが押し抜きひび割れを生じることにより損傷を受けたことから、今後プレキャスト床版の設計には押し抜き強度に対する評価が必要なことと思われる。

参考文献

- 1)土木学会；コンクリート標準示方書
- 2)角田与史雄・伊藤昭夫・藤田嘉雄：鉄筋コンクリートスラブの押し抜きせん断耐力に関する実験的研究、土木学会論文報告集、
- 3)前田幸雄・松井繁之；鉄筋コンクリート床版の押し抜きせん断耐力の評価式、土木学会論文集、第348号/V-1、pp.133~141、1984.8
- 4)大岩昇・原田賢哉・阿部宗人・浜田純夫：スラブ押し抜きせん断耐力に対する合理式、第47回土木学会中国支部研究発表会発表概要集、pp.416~417、1995.5
- 5)石川和浩・原田賢哉・阿部宗人・浜田純夫：打ち継ぎ目を有するスラブの押し抜き耐力、第47回土木学会中国支部研究発表会発表概要集、pp.418~419、1995.5