論文　軽量コンクリート２種を用いたプレキャストPC床版の押抜きせん断耐荷力および疲労耐久性に関する研究

小林　崇[*1]・中村　定明[*2]・郷保　英之[*3]・松井　繁之[*4]

要旨：床版取替工事では，鋼主桁や下部工の死荷重応力の増加を抑制することや補強の簡素化，および耐震性の向上から取替用床版の軽量化が求められる。このような背景のもと筆者らは，粗骨材に軽量骨材を，細骨材に軽量骨材と普通骨材を併用した軽量コンクリート2種のプレキャストPC床版への適用を検討している。今回，軽量コンクリート 2 種を用いたプレキャスト PC 床版について，静的押抜き載荷試験および輪荷重走行疲労試験により床版の耐荷性，耐久性を確認するとともに，既往の研究式をもとにした押抜きせん断耐荷力および疲労強度の算定式を提案した。

キーワード：軽量コンクリート 2 種，プレキャスト PC 床版，押抜きせん断耐荷力，疲労耐久性

1. はじめに

わが国では橋梁のストック数が膨大になり，供用期間が 50 年に達する橋梁数も増加している。これらの橋梁では老朽化が進んでおり，特に鋼橋の RC 床版の損傷が大きく，各道路管理機関で大規模補強や取替えが検討されている。RC 床版の取替えではプレキャスト床版が採用されることが主であるが，取替え後の床版には既設の鋼主桁や下部工の応力負担を増加させないよう軽量化が求められる。その一つとして，軽量コンクリート 1 種を用いたプレキャスト PC 床版の実用が報告されている [1)]。

今回，既設 RC 床版に軽量コンクリートが使用されている場合や基礎工の補強が困難な場合に特に求められる床版の更なる軽量化に対して，軽量コンクリート 2 種（以下，軽量 2 種）のプレキャスト PC 床版への適用を目的として行った床版の静的押抜きせん断載荷試験，および輪荷重走行疲労試験について報告する。また，これらの結果から既往の研究式をもとにした押抜きせん断耐荷力，および疲労強度の算定式を提案する。

2. 軽量コンクリート２種の概要

コンクリートは軽量化に伴い静弾性係数も減少する。このため，過度に軽量化を行うと荷重に対する床版のたわみが増大し，走行性に影響を及ぼす可能性がある。プレキャスト PC 床版への適用にあたり軽量 2 種の設計基準強度は一般的な PC 床版と同様に 50N/mm^2 とし，単位体積重量は普通コンクリート（=23.0kN/m^3）の 30%程度の軽減となる 16.5kN/m^3 以下を目標として，その適用性を確認するものとした。

軽量 2 種の使用材料を**表－1** に，配合を**表－2** に，後述する静的押抜きせん断載荷試験，輪荷重走行疲労試験の床版試験体に用いた軽量2種の材齢28日における物性を**表－3** に示す。ここで，軽量 2 種では，一般に軽量コンクリートが弱いとされる凍結融解作用に対する抵抗性を向上させるために軽量骨材を含水率 2%以下の低含水状態で使用している。

表－1　軽量コンクリート２種の使用材料

種別	記号	種 類	物性値等
セメント	C	早強ポルトランドセメント	密度 3.14g/cm^3
細骨材	S	石灰砕砂	表乾密度 2.67g/cm^3 滋賀県犬上郡産
	SL	人工軽量骨材（低含水品）	絶乾密度 1.67g/cm^3 含水率 0.3%
粗骨材	GL	人工軽量骨材（低含水品）	絶乾密度 1.26g/cm^3 含水率 0.2%
水	W	水道水	
混和剤	SP	高性能減水剤	ﾎﾟﾘｶﾙﾎﾞﾝ酸ｴｰﾃﾙ系
	AE	AE 剤	変性ｱﾙｷﾙｶﾙﾎﾞﾝ酸化合物系

表－2　軽量コンクリート２種の配合

W/C (%)	空気量 (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m^3)				
			W	C	S	SL	GL
32.0	5.0	41.0	150	469	32	429	494

表－3　軽量コンクリート２種の物性（材齢 28 日）

試験体種類	単位体積重量 (kN/m^3)	強度 (N/mm^2)			静弾性係数 (kN/mm^2)
		圧縮	引張	せん断	
押抜き試験	16.0	59.0	2.27	6.20	19.5
走行疲労試験	16.0	53.8	2.09	5.91	18.7

*1　（株）IHI インフラ建設　開発部　(正会員)
*2　（株）IHI インフラ建設　開発部　工(博)　(正会員)
*3　（株）IHI インフラ建設　PC 事業部 PC 技術部
*4 大阪大学　名誉教授　工博　(正会員)

3. 軽量２種を用いたPC床版の押抜きせん断耐荷性能

3.1 静的押抜き載荷試験の概要

軽量コンクリートを床版に使用した場合，押抜きせん断耐荷力の低下が懸念される。これに対して軽量コンクリート2種を用いたプレキャストPC床版（以下，軽量2種床版）では，プレストレスの導入により押抜きせん断耐荷力の向上を図っている。ここでは，軽量2種床版の押抜きせん断耐荷性能の確認を目的として行った静的押抜き載荷試験について述べる。

試験体は橋軸直角方向となる長さ方向にプレテンション方式によりプレストレスを導入したPC版とした。プレストレスの導入量は，床版厚が道路橋示方書で示される最小厚の160mmとなるよう想定した床版支間2.0mの連続版で死荷重および活荷重に対して下縁に引張応力を生じないようコンクリートの平均軸圧縮応力度で6.29N/mm^{2}とした。試験は3体の試験体について100×100mmの面載荷を行うものとし，支持条件および支持間隔は過去の実験からPC構造である床版の押抜きが再現できる床版支間を載荷面の辺長の5倍程度とすればよいとの考えで支間1.0mの4辺支持とした。載荷試験の概要を**図－1**に，試験体の断面図を**図－2**に示す。

3.2 実験値と算定値の比較

静荷重に対する押抜きせん断耐荷力P_0を算定する。押抜きせん断耐荷力P_0の算定は，東山らが提案するPC床版の算定式(1)によった[2)]。

表－4に算定に用いた諸数値および算定値を示す。ここで，軽量2種の引張強度はJIS A1113「コンクリートの割裂引張強度試験方法」，せん断強度はJSCE-G533「鋼繊維補強コンクリートのせん断強度試験方法（案）」を参考とする直接2面せん断試験による10体の試験の平均値を用いており，コンクリートのせん断ひび割れ強度および主方向とするプレストレス導入方向に平行な断面の破壊面角度はコンクリートの引張強度とプレストレス導入量を用いて式(2)，式(3)により求めている。

押抜きせん断耐荷力

$$P_0=\tau_{smax}\{2(a+2x_m/\tan\theta_m)\,x_d/\tan\theta_m+2(b+2x_d/\tan\theta_d)x_m/\tan\theta_m\}+\sigma_{tmax}\{2(a+2d_m/\tan\theta_m)C_d+2(b+2d_d/\tan\theta_d+4C_d)C_m\} \quad (1)$$

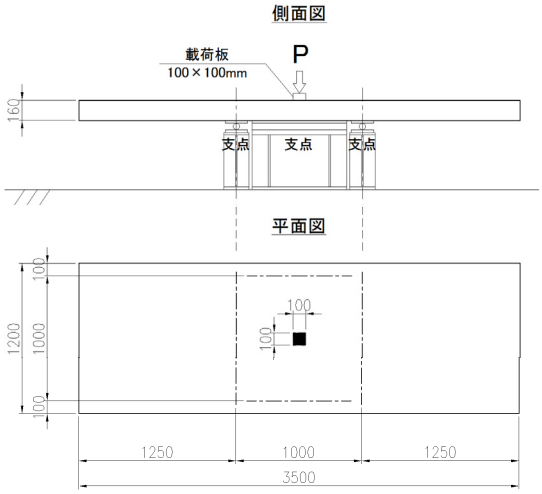
コンクリートのせん断ひび割れ強度

$$\tau_{cr}=1.005\sqrt{\sigma_{tmax}{}^2+\sigma_{tmax}\cdot\sigma_{cp}} \quad (2)$$

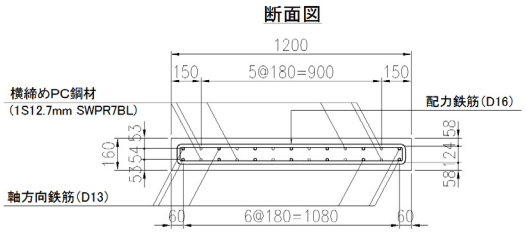
主方向の破壊面角度

$$\theta_m=1/2\tan^{-1}\left(2\tau_{cr}/\sigma_{cp}\right) \quad (3)$$

図－3に各試験体の荷重と床版たわみ曲線を示す。各試験体が押抜きせん断破壊を生じたときの荷重の平均値は433kNであり，式(1)による押抜きせん断耐荷力P_0の算定値に対して8割程度であった。



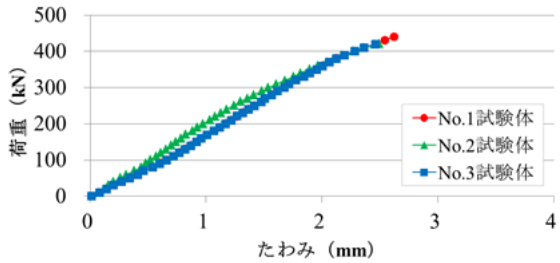
図－1　静的押抜き載荷試験概要



図－2　試験体断面図

表－4　静的押抜きせん断耐荷力P_0の算定

記号	項　目	単位	値
σ_c	コンクリートの圧縮強度	N/mm^2	58.4
σ_{tmax}	コンクリートの引張強度	N/mm^2	2.24
τ_{smax}	コンクリートのせん断強度	N/mm^2	6.14
a,b	載荷版の主方向，直角方向の辺長	mm	100.0
x_m	主方向鉄筋に直角な断面の引張側コンクリートを無視した断面の中立軸	mm	44.0
x_d	直角方向鉄筋に直角な断面の引張側コンクリートを無視した断面の中立軸	mm	46.0
d_m	引張側主方向鉄筋の有効高さ	mm	107.5
d_d	直角方向鉄筋の有効高さ	mm	122.0
C_m	引張側主方向鉄筋のかぶり	mm	46.0
C_d	直角方向鉄筋のかぶり	mm	30.0
σ_{cp}	プレストレス導入量	N/mm^2	6.29
τ_{cr}	コンクリートのせん断ひび割れ強度	N/mm^2	4.43
θ_m	主方向の破壊面の角度	rad	0.475
		°	27.2
θ_d	直角方向の破壊面の角度	rad	0.785
		°	45.0
P_0	静的押抜きせん断耐荷力の算定値	kN	518.6



図－3　荷重－床版たわみ曲線

3.3 押抜きせん断耐荷力算定方法の検討

押抜きせん断耐荷力の実験値が算定値を下回った要因，および式(1)をもとにした軽量 2 種の押抜きせん断耐荷力 P_0 の算定について検討を行う。

(1) 破壊面角度の影響

写真－1 に試験体の破壊面のひび割れ状況を示す。破壊面では複数のひび割れが確認されたため，最も内側で角度の大きいひび割れを破壊面として角度を評価した。

破壊面で確認されたひび割れ角度は，RC 構造である直角方向では 3 体とも黄色い文字および実線で示すように 45° で一定であったのに対して，PC 構造である主方向では赤い文字および点線で示すように中立軸上側の圧縮域と下側の引張域で角度に差異が見られた。このため，PC 方向のひび割れ角度は，**図－4** に示すように床版上縁から中立軸までの角度を θ_1，中立軸から下側鋼材までの角度を θ_2 とし，式(4)により黄色い文字および実線で示す均し角度 θ_m として評価した。

$$\theta_m = \theta_1 \times x/d + \theta_2 \times (d\text{-}x)/d \qquad (4)$$

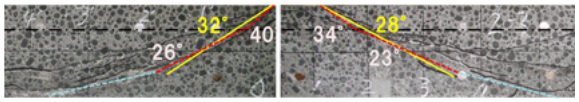
試験体 3 体の PC 方向の破壊面で確認されたひび割れの均し角度は，いずれも 30° 程度であり，式(2)，式(3)で算出される破壊面角度 27° に対して大きいことを確認した。よって，プレストレス導入による破壊面角度を 30° として押抜きせん断耐荷力 P_0 を算定する。

(2) 軽量骨材の破壊の影響

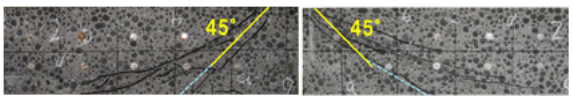
前述のように押抜きせん断耐荷力 P_0 の算定では，軽量 2 種の物性値は試験により確認された値を用いている。これに対して東山らは軽量コンクリートを用いた RC 床版の押抜き破壊では，粗骨材自身の割裂を伴うとして軽量化によるコンクリートの物性の低下を考慮したうえでせん断耐力，はく離耐力それぞれを低減した算定式を提案している [3]。軽量 2 種床版は PC 床版であり，プレストレスの導入によりせん断耐力の向上を図っているが，はく離破壊では RC 床版と同様に粗骨材自身の割裂を伴うとして，はく離耐力のみを低減するものとする。

(3) 押抜きせん断耐荷力の同定

以上の要因を考慮した軽量 2 種床版の押抜きせん断耐荷力 P_0 の式(5)による算定値と実験値の比較を**表－5** に示す。ここで P_0 の算定では，主方向の破壊面角度 θ_m を 30°，はく離破壊に関する低減係数 α_t を東山らの研究より 0.703 としている。

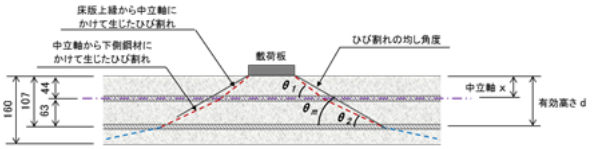


(a)　主方向（PC 構造）



(b)　直角方向（RC 構造）

写真－1　破壊面のひび割れ状況（試験体 C）



図－4　破壊面角度の評価方法

表－5　押抜きせん断耐荷力 P_0 の実験値と算定値の比較

試験体	A	B	C	平均
実験値(kN)	449	424	425	433
算定値(kN)	436			
実験値/算定値	1.02	0.97	0.97	0.99

$$\begin{aligned} P_0 = {} & \tau_{smax}\{2(a+2x_m/\tan\theta_m)\,x_d/\tan\theta_m \\ & +2(b+2x_d/\tan\theta_d)x_m/\tan\theta_m\} \\ & +\alpha_t\cdot\sigma_{tmax}\{2(a+2d_m/\tan\theta_m)C_d \\ & +2(b+2d_d/\tan\theta_d+4C_d)C_m\} \end{aligned} \qquad (5)$$

算定値に対する各試験体の実験値の比は 0.97～1.02 であり，軽量 2 種床版の押抜きせん断耐荷力 P_0 は，既往の PC 床版用算定式に破壊面角度とはく離耐力の低減を考慮することで同定できる可能性が示された。

4. 軽量 2 種を用いた PC 床版の疲労耐久性能

4.1 輪荷重走行疲労試験の概要

軽量 2 種床版の輪荷重に対する疲労耐久性の確認を目的として実施した輪荷重走行疲労試験について述べる。

(1) 床版試験体概要

軽量 2 種床版の実用化にあたっては，工場で製作時に導入する橋軸直角方向プレストレスに加え，床版架設後に橋軸方向プレストレスを導入する構造を考えている。これより，試験に用いる床版試験体は，プレテンション方式によりプレストレスを導入した PC 版 4 体をポストテンション方式によりプレストレスを導入，接合して形成するものとした。また，軽量 2 種床版は連続版を想定しているが，走行試験は床版支間 2.5m の単純支持で行

うため，荷重による支間中央の曲げモーメントが支間 2.5m の単純支持版と同等となる床版支間 3.0m の連続版を想定し，床版厚を 180mm とした。**図－5** に床版試験体の概要とこれに対する輪荷重の走行範囲を示す。

ここで，橋軸直角方向には死荷重および活荷重に対して下縁に引張応力を生じないようコンクリートの平均軸圧縮応力度で 8.15N/mm^2 のプレストレスを導入した。橋軸方向には，活荷重に対して下縁に引張応力を生じず，かつ，活荷重および衝撃として活荷重の 1.7 倍の応力度に対して接合部の引張応力が許容曲げ引張応力度（－3.0N/mm^2）に収まるよう床版厚中央に ϕ23mm の PC 鋼棒を 200mm 間隔で配置，コンクリートの平均軸圧縮応力度で 6.07N/mm^2 のプレストレスを導入した。

(2) 輪荷重走行試験概要

試験は，床版試験体上に一列に並べた幅 500mm の載荷ブロック上を，幅 320mm の鉄輪が床版中央より ±1.5m（走行区間 3m）の範囲で往復することにより行った。載荷は，(独行法）土木研究所が実施した階段状の荷重漸増載荷[4]と同様とし，初期荷重 157kN から 4 万回走行ごとに 19.6kN ずつ荷重を増加し，破壊に至るまで行った。

4.2 疲労耐久性の評価

(1) 実験結果

図－6 に輪荷重走行試験の走行回数と活荷重たわみの関係を示す。既往の研究では，床版の使用限界状態を式(6)による劣化度 D_δ が 1.0 となる，活荷重たわみが引張側コンクリートを無視した理論たわみ量に達した時点としている[5]。

$$\text{劣化度 } D_\delta = \frac{\omega - \omega_0}{\omega_c - \omega_0} \qquad (6)$$

ここに，ω：活荷重の実測値（mm），ω_0：コンクリートの全断面を有効とした理論たわみ（mm），ω_c：引張側コンクリートを無視した理論たわみ（mm）

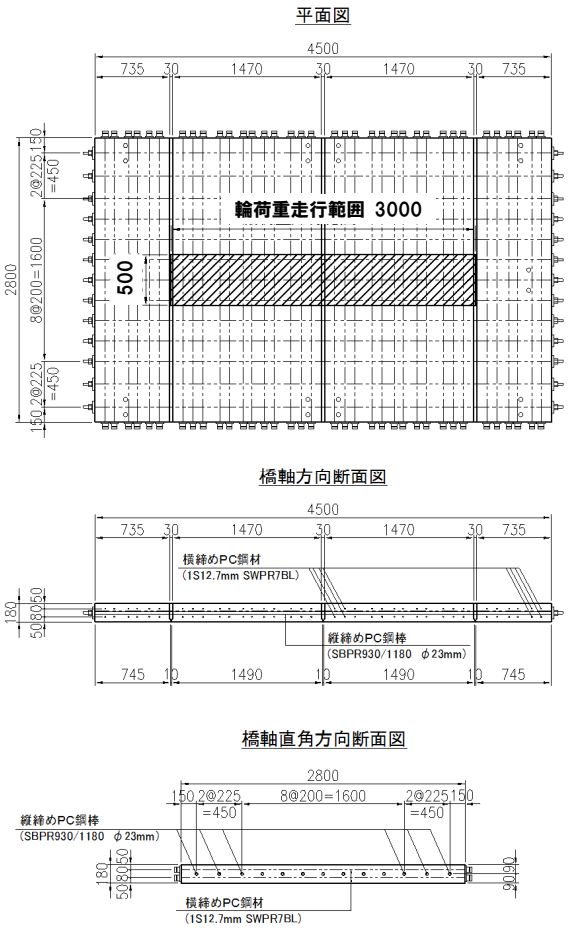
使用限界状態以降は，走行回数は伸びず床版たわみのみ著しく増加するため，終局限界状態を劣化度 D_δ が 1.5 となる床版たわみが 6.9mm に達した時点とし，最終的な載荷荷重を 431kN，走行回数を 56.5 万回とした。

本結果は，土木研究所式の輪荷重走行試験で高耐久性床版と評価される載荷最大荷重 392kN，総走行回数 52 万回を十分クリアしており[6]，また，初期荷重 157kN の等価繰返し走行回数は 2,000,000 万回に達し，軽量 2 種床版は十分な疲労耐久性を有することが確認された。

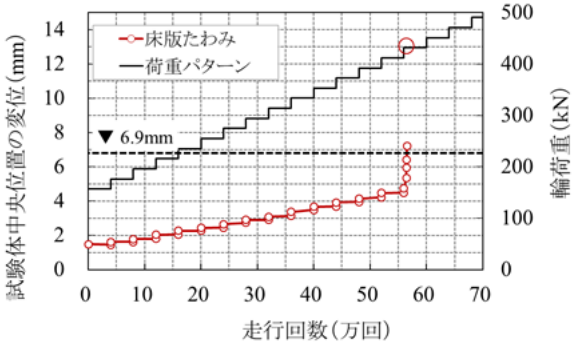
(2) 実験結果からの押抜きせん断耐荷力の推定

松井らが提案する RC 床版の S-N 曲線[7]が PC 床版にも適用できるものと仮定して，試験結果をもとに式(7)を用いて疲労に対する押抜きせん断耐荷力 P_{sx} を逆算する。

$$\log(P/P_{sx}) = 0.07835 \log N + \log 1.52 \qquad (7)$$



図－5　床版試験体概要と輪荷重走行位置



図－6　走行回数と活荷重たわみの関係

すなわち，押抜きせん断耐荷力 P_{sx} は，載荷荷重 431kN，走行回数 56.5 万回で累積損傷度 Σ（ni/Ni）が 1.0 となる P_{sx} と考え，**表－6** のとおり 663.8kN が得られた。

4.3 疲労強度算定方法の検討

軽量 2 種床版の疲労に対する押抜きせん断耐荷力 P_{sx} の算定について検討する。東山らは橋軸方向にプレストレスを導入した PC 床版においても走行荷重の繰返しにより床版上面に橋軸直角方向ひび割れが発生し，最終的に梁状化に至るとして橋軸方向プレストレスの導入による破壊面角度の変化を梁幅に考慮した押抜きせん断耐荷

表－6　実験結果からの押抜きせん断耐荷力 P_{sx} の推定

載荷荷重 Pi (kN)	走行回数 ni (回)	累計走行回数 Σni (回)	押抜きせん断耐荷力 Psx (kN)	N_i (回)	累積疲労損傷度 Σ (ni/Ni)
157	40,000	40,000		2.1E+10	0.000
177	40,000	80,000		4.6E+09	0.000
196	40,000	120,000		1.2E+09	0.000
216	40,000	160,000		3.6E+08	0.000
235	40,000	200,000		1.2E+08	0.000
255	40,000	240,000		4.2E+07	0.001
275	40,000	280,000		1.6E+07	0.004
294	40,000	320,000	663.8	6.8E+06	0.010
314	40,000	360,000		3.0E+06	0.023
333	40,000	400,000		1.4E+06	0.052
353	40,000	440,000		6.6E+05	0.113
373	40,000	480,000		3.3E+05	0.233
392	40,000	520,000		1.7E+05	0.465
412	40,000	560,000		9.3E+04	0.897
431	5,284	565,284		5.1E+04	1.000

力の算定式を提案している [8]。ここで押抜きせん断耐荷力 P_{sx} は，東山らの式に静的押抜き載荷試験で確認された破壊面角度 30°，はく離耐力の低減係数 α_t=0.703 を考慮した式(8)により算定した。ただし，橋軸直角方向のプレストレスは，橋軸方向断面の引張側コンクリートを無視した断面の中立軸 x_m の関数として考慮している。

$$P_{sx}=2B'(\tau_{smax}\cdot x_m+\alpha_t\cdot\sigma_{tmax}\cdot C_m) \quad (8)$$

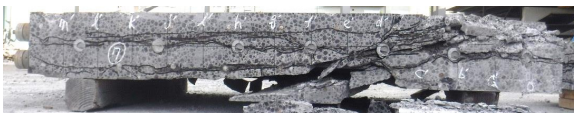
表－7 に式(8)および後に示す式(9)による押抜きせん断耐荷力 P_{sx} の算定に用いた諸数値と算定値を示す。式(8)による算定値は **4.2(2)**の推定値を 2 割程度下回った。

橋軸直角方向の破壊面では，**写真－2** のように床版厚中央に配置した PC 鋼棒より斜め方向にひび割れを生じている。そこで，橋軸方向 PC 鋼材の付加効果を考慮すべきとして**図－7** の赤斜線で示す PC 鋼材から直角方向引張鉄筋までの間で，輪荷重の辺長に破壊面角度を考慮した範囲を PC 鋼材によるはく離破壊の範囲として，はく離耐力を第 2 項で考慮した式(9)により P_{sx} を算定した。

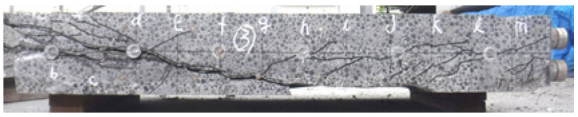
$$P'_{sx}=2B'(\tau_{smax}\cdot x_m+\alpha_t\cdot\sigma_{tmax}\cdot C_m)+\alpha_t\cdot\sigma_{tmax}(2B_p\cdot C_{pm}) \quad (9)$$

式(9)による算定値は 661.4kN であり，推定値と概ね一致した。以上から，軽量 2 種床版の押抜きせん断耐荷力 P_{sx} は，床版厚中央に配置した橋軸方向の PC 鋼材のメンブレン効果による荷重負担をはく離耐力として評価することで，前述した押抜きせん断耐荷力 P_0 と同様に破壊面角度や粗骨材の割裂によるはく離耐力の低減を考慮することで同定され，前述の RC 床版の S-N 曲線が PC 床版でも適用できる可能性が示された。

式(9)で算定された押抜きせん断耐荷力 P_{sx} による軽量



(a) 切断面左側



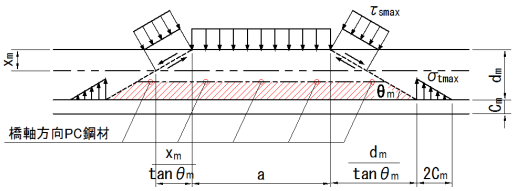
(b) 切断面右側

写真－2　橋軸直角方向切断面

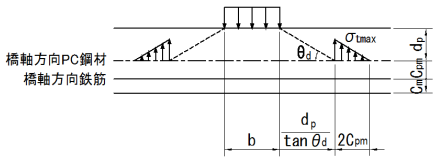
表－7　疲労に対する押抜きせん断耐荷力 P_{sx} の算定

記号	項　目	単位	値
σ_c	コンクリートの圧縮強度	N/mm²	53.8
σ_{tmax}	コンクリートの引張強度	N/mm²	2.09
τ_{smax}	コンクリートのせん断強度	N/mm²	5.91
x_m	橋軸方向断面の引張側コンクリートを無視した断面の中立軸	mm	58.0
C_m	橋軸直角方向引張側鉄筋のかぶり	mm	43.0
C_{pm}	橋軸方向の PC 鋼材と橋軸直角方向引張側鉄筋の距離	mm	40.5
a	輪荷重の橋軸直角方向の辺長	mm	500.0
b	輪荷重の橋軸方向の辺長	mm	200.0
d_d	橋軸方向鉄筋の有効高さ	mm	143.5
d_p	橋軸方向の PC 鋼材の有効高さ	mm	90.0
σ_{cpm}	橋軸直角方向のプレストレス導入量	N/mm²	8.15
σ_{cpd}	橋軸方向のプレストレス導入量	N/mm²	6.07
τ_{crm}	橋軸方向のコンクリートのせん断ひび割れ	N/mm²	4.15
θ_m,θ_d	橋軸直角方向，橋軸方向の破壊面の角度	rad	0.524
		°	30.0
B'	梁状化した梁幅　$B'=b+2\alpha_d\cdot d_d$	mm	696.5
B_p	橋軸方向 PC 鋼材のはく離破壊領域長さ $B_p=a+2\alpha_m\cdot d_p$	mm	811.4
α_m	橋軸直角方向の破壊角度に対する補正係数 $\alpha_m=1/\tan\theta_m$	－	1.732
α_d	橋軸方向の破壊面角度に対する補正係数 $\alpha_d=1/\tan\theta_d$	－	1.732
α_t	はくり破壊に関する低減係数	－	0.703
P_{sx}	式(8)による押抜きせん断耐荷力の算定値	kN	565.6
P_{pm}	橋軸方向 PC 鋼材の付加効果	kN	96.6
P'_{sx}	式(9)による押抜きせん断耐荷力の算定値	kN	662.2

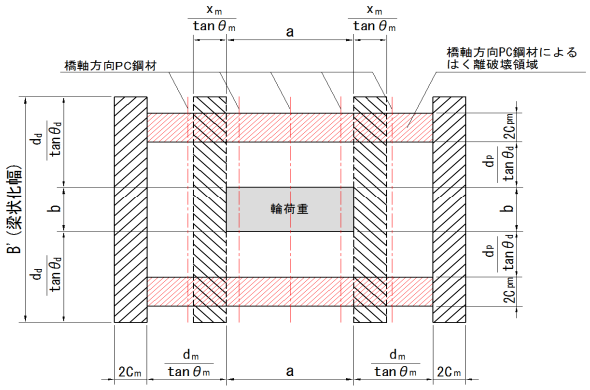
2 種床版の S-N 結果と RC 床版の S-N 曲線の関係を**図－8** に示す。本図には，前述の考えで走行試験結果より推定される P_{sx} が 727.3kN となる軽量コンクリート 1 種を用いたプレキャスト PC 床版 [9]（以下，軽量 1 種床版）の式(9)により算定した P_{sx} を用いた S-N 結果も示している。軽量 1 種床版でも推定値と算定値は概ね一致しており，式(9)により算定した押抜きせん断耐荷力 P_{sx} をもとに RC 床版の S-N 式によって PC 床版である軽量 PC 床版の疲労寿命が算定できる可能性が見出された。



(a) 橋軸直角方向断面における破壊時応力分布

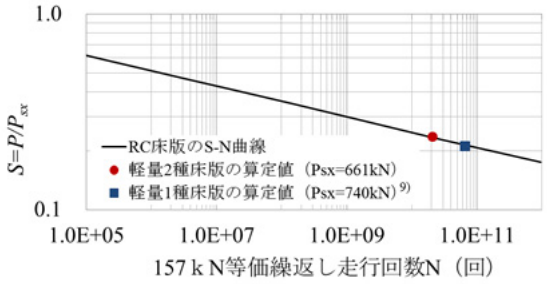


(b) 橋軸方向断面の破壊時応力分布



(c) 平面図

図－7　床版厚中央に配置した PC 鋼材の
はく離耐力の考慮



図－8　RC 床版の S-N 曲線と軽量 PC 床版の S-N 結果

5 まとめ

粗骨材に軽量骨材を，細骨材に軽量骨材と普通骨材を併用した軽量コンクリート 2 種のプレキャスト PC 床版への適用，静荷重および疲労に対する押抜きせん断耐力の確認を目的として静的押抜きせん断試験および輪荷重走行疲労試験を実施した。また，これらの結果をもとに静荷重および疲労に対する軽量 2 種床版の押抜きせん断耐荷力について算定式の検討を行った。

本実験，検討により得られた知見を以下に示す。

(1) 破壊面で確認した軽量 2 種床版の押抜きせん断力に対する破壊面角度は，コンクリートの引張強度とプレストレス導入量による計算値に対して大きい。

(2) 軽量 2 種床版は，はく離破壊時に軽量粗骨材の割裂破壊を伴うものとして，軽量化によるコンクリートの物性の低下を考慮したうえではく離耐力を低減，破壊面角度を 30° とすることで，既往の研究式を準用した式により軽量 2 種床版の静荷重に対する押抜きせん断耐力を算定できる。

(3) 静的押抜き載荷試験で確認された破壊面角度を用い，はく離耐力の低減と床版厚中央に配置した橋軸方向 PC 鋼材のはく離耐力を考慮することで，軽量 2 種床版の疲労に対する押抜きせん断耐荷力を算定できる。

(4) 疲労に対する押抜きせん断耐荷力の算定値をもとに，RC 床版の S-N 曲線を用いて軽量 PC 床版の疲労寿命が算定できる可能性が見出された。

参考文献

1) 堂前満，中村定明，澤大輔，立松博，小野辺良一：軽量化・高耐久化を実現する「HSL スラブ」道路橋 RC 床版取換用高強度軽量プレキャスト PC 床版，セメント・コンクリート，No.702，pp.52-59，2005.8

2) 東山浩士，太田博士，朴淙珍，松井繁之：PC 床版の押抜きせん断耐荷力について，プレストレストコンクリート技術協会，第 7 回シンポジウム論文集，pp.13-16，1997.10

3) 東山浩士，水越睦視，松井繁之，小田憲司：軽量コンクリートを用いた RC 床版の押抜きせん断耐荷力の評価とその実用性に関する研究，コンクリ-ト工学論文集，第 16 巻第 1 号，pp.45-54，2005.1

4) 中谷昌一ほか：道路橋床版の疲労耐久性に関する試験，国土技術政策総合研究所資料第 28 号，2002.3

5) 松井繁之，前田幸雄：道路橋 RC 床版の劣化度判定法の一提案，土木学会論文集，第 374 号/ I -6，pp.419-426，1986.10

6) 松井繁之：床版研究の変遷と輪荷重走行試験機の役割，第五回道路橋床版シンポジウム講演論文集，pp.1-12，2006.7

7) 松井繁之：橋梁の寿命の予測 - 道路橋 RC 床版の疲労寿命予測 - ，安全工学，Vol.30，No.6，pp.432-440，1991

8) 東山浩士，松井繁之：橋軸方向プレストレスしたコンクリート床版の走行荷重に対する疲労耐久性に関する研究，土木学会論文集，No.605，I-45，pp.79-90，1998.10

9) 中村定明，深山 清六，小野辺良一，山下 亮：高強度軽量プレキャストＰＣ床版の疲労耐久性評価，コンクリート工学年次論文集，Vol.24，No.2，2002