

論文
[2057] 合成小梁仕口のせん断力伝達機構に関する実験的研究

正会員 〇杉山秀徳 (長崎大学大学院)
 正会員 小森清司 (長崎大学工学部)
 正会員 永藤政敏 (長崎大学工学部)
 正会員 山田宏至 (富士ビーエスコンクリート)

1. はじめに

鉄筋コンクリート建築物において工期の短縮および労力の節減のため部材のプレキャスト化が急速に進んでおり、これを小梁を含む床板構造にまで拡張しようとする試みが行なわれている。そこで、小梁と大梁との接合部(仕口)のせん断性状を十分に把握する必要性が生じてくる。

本論文では、図-1に示すように定着筋を持たないプレキャスト小梁が実際の建築物に使用された場合を想定し、小梁と大梁との接合部をとりだし、そのせん断特性を明らかにするために実物大の試験体により直接二面せん断試験を行なった。

2. 試験体

図-2にプレキャスト小梁端部の形状を、図-3に試験体詳細図をそれぞれ示す。試験体は、内側のプレキャスト小梁部分(以下小梁と略す)と外側の現場打ち大梁部分(以下大梁と略す)で構成される。小梁端部の形状を図-2に示すように形状1と形状2の二通り、大梁へのかかり代を40mmと0mmの二通り、梁部上面のスラブコンクリート部分(以下スラブと略す)の有無で二通り、それぞれ二体ずつ作成し、合計16体とした。

接合部にはジベル等の定着筋を設けていない。また、大梁の実状に近い状態での破壊性状を再現するために大梁のかかり代から下の部分がせん断破壊するよう考慮した。

表-1に試験体とコンクリート強度を一覧する。

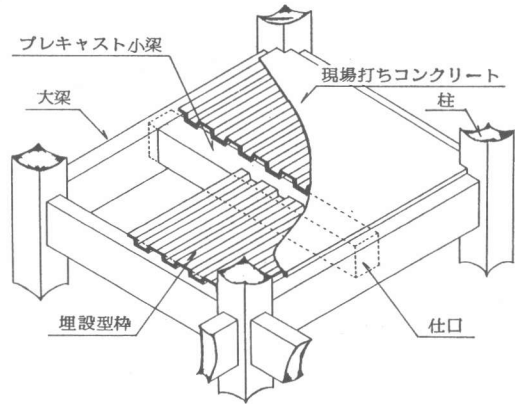


図-1 概略図

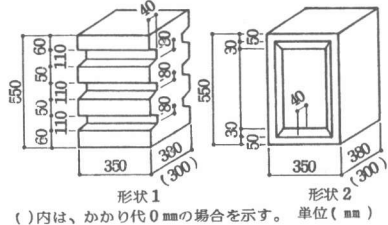
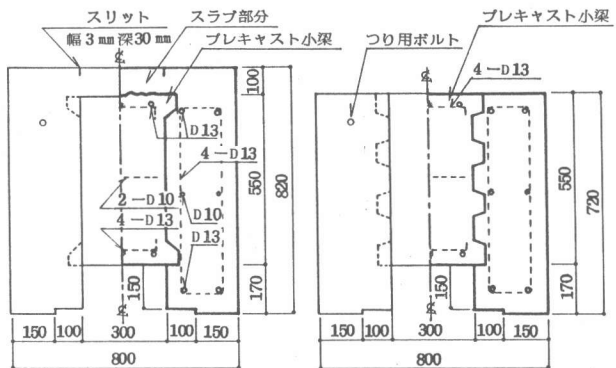


図-2 小梁の形状



スラブ端に曲げひびわれを想定して、スリットを設けている。単位(mm)
 大梁長さ65cm、小梁幅は35cm、中心線より左側は側面図、右側は断面図

図-3 試験体詳細図

3. 試験方法

3-1. 加力方法

図-4に示すように試験体を万能試験機のベッド上にセットし、矢印方向に毎秒0.02~0.03kg/cm²を目標に一定速度で加力して、直接二面せん断試験を行なった。

3-2. 測定方法

図-4に示すように、打ち継ぎ面のずれを側面4カ所のクリップゲージで、また打ち継ぎ面に沿ったひずみをストレインゲージにてそれぞれ測定した。

4. 実験結果および考察

4-1. 合成限界点について

図-5は、縦軸に平均せん断応力度 τ (kg/cm²)をとり、横軸に打ち継ぎ面のずれ δ (mm)、大梁側面のひずみ ε ($\times 10^{-6}$)、および経過時間 t (min)をとって、各曲線の相対関係が分かりやすいように示したものである。 τ が或る値に達すると、それぞれの曲線が急激に、且つ同時に変化することが分かる。これは図示した試験体に限られたことではなく、多数の試験体において出現するものであり、本論文では、この点を打ち継ぎ面での合成効果を失う点であると見なして合成限界点(この点に於ける荷重を P_y 、応力度を τ_y と表示する)と定義した。

図-5では特に ε が反転する現象が目につく。試験体の種類によっては δ 、および t に変化がみられにくいものもあるが、 ε の反転は全てに一貫してみられ、合成限界点の判定に有効な指標となる。

表-2に各試験体についての合成限界点応力度 τ_y を一覧し、併せて表-3に昭和59年に実施した直接二面せん断試験の結果を掲載する。¹⁾

4-2. 抵抗要素の分類

コンクリート打ち継ぎ面にジベル等の定着筋を使用しない場合の抵抗要素として<付着>と<せん断>との2つが考えられる。図-6は、 τ を τ_y で無次元化したものを縦軸にとり、 δ を横軸にとり示したものである。試験体の性状を抵抗要素別に分類すれば、 $\tau/\tau_y \sim \delta$ 関係が始終直線で示される<付着型>と、 $0.7\tau_y$ 付近から δ が急に増大し始める<付着+せん断型>、 τ/τ_y の低い段

表-1 試験体一覧表

番号	試験体名称	スラブの有無	大梁へのかかり代	小梁の形状	圧縮強度 F_c (kg/cm ²)	
					小梁	大梁
1	PRN(4)-1-1	無し	40mm	形状1	536	236
2	PRN(4)-1-2	無し	40mm	形状1	476	236
3	PRN(0)-1-1	無し	0mm	形状1	543	237
4	PRN(0)-1-2	無し	0mm	形状1	528	237
5	PRN(4)-2-1	無し	40mm	形状2	536	236
6	PRN(4)-2-2	無し	40mm	形状2	476	236
7	PRN(0)-2-1	無し	0mm	形状2	543	237
8	PRN(0)-2-2	無し	0mm	形状2	528	237
9	PRS(4)-1-1	有り	40mm	形状1	539	236
10	PRS(4)-1-2	有り	40mm	形状1	546	236
11	PRS(0)-1-1	有り	0mm	形状1	554	237
12	PRS(0)-1-2	有り	0mm	形状1	532	237
13	PRS(4)-2-1	有り	40mm	形状2	539	236
14	PRS(4)-2-2	有り	40mm	形状2	546	236
15	PRS(0)-2-1	有り	0mm	形状2	554	237
16	PRS(0)-2-2	有り	0mm	形状2	532	237

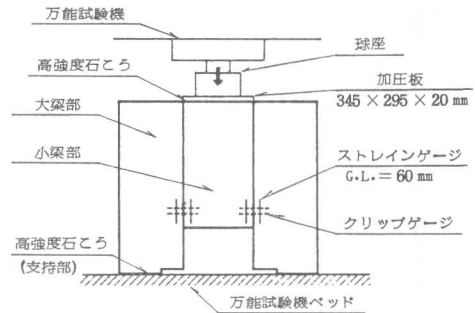


図-4 試験方法

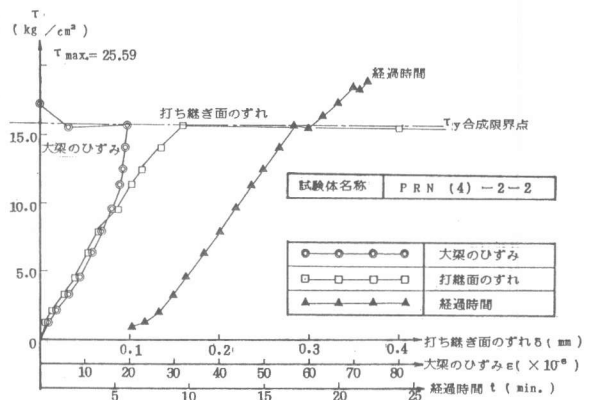


図-5 合成限界点の判定法

表-2 合成限界点一覧表（昭和63年度実施分）

番号	試験体名称	打ち継ぎ面の面積		合成限界点			
		A ₁ ^{<1>} (cm ²)	A ₂ ^{<2>} (cm ²)	τ_{v1} (P _v /A ₁) (kg/cm ²)	τ_{v2} (P _v /A ₂) (kg/cm ²)	δ_v (最大) (mm)	δ_v (平均) ^{<3>} (mm)
1	PRN(4)-1-1	3827	4706	17.17	13.96	0.129	0.088
2	PRN(4)-1-2	3786	4664	20.76	16.85	0.143	0.120
3	PRN(0)-1-1	3850	3850	18.59	—	0.070	0.041
4	PRN(0)-1-2	3875	3875	18.11	—	0.051	0.038
5	PRN(4)-2-1	3873	4756	12.81	10.43	0.027	0.021
6	PRN(4)-2-2	3844	4726	15.75	12.81	0.021	0.018
7	PRN(0)-2-1	3851	3851	14.23	—	0.045	0.033
8	PRN(0)-2-2	3841	3841	8.84	—	0.024	0.018
9	PRS(4)-1-1	5123	6004	19.92	17.00	0.109	0.074
10	PRS(4)-1-2	5164	6044	15.63	13.36	0.046	0.037
11	PRS(0)-1-1	5204	5204	19.61	—	0.071	0.046
12	PRS(0)-1-2	5169	5169	—	—	—	—
13	PRS(4)-2-1	5150	6031	12.36	10.55	0.065	0.059
14	PRS(4)-2-2	5106	5985	16.09	13.73	0.092	0.086
15	PRS(0)-2-1	5188	5188	—	—	—	—
16	PRS(0)-2-2	5154	5154	7.08	—	0.039	0.029

注<1> 小梁の全断面積, <2> 小梁の全断面積+かかり代分の側面積(実測による),
<3> δ_v (平均)は片面の平均を示す

表-3 合成限界点一覧表（昭和59年度実施分）

試験体名称	PC板用コンクリート強度(Kg/cm ²)	現場打ちコンクリート強度(Kg/cm ²)	PC板の方向 (試験体の数)	側圧	τ (最大) (kg/cm ²)	τ_v (平均) ^{<5>} (kg/cm ²)	δ_v (最大) (mm)	δ_v (平均) (mm)
BD-6228	624	280	正-正(3)	有	20.2	19.2	0.057	0.040
			正-正(3)	無	20.6	20.2	0.085	0.053
			正-負(3)	有	17.1	16.5	0.036	0.033
			正-負(3)	無	17.8	17.6	0.064	0.040
			負-負(3)	有	19.3	19.1	0.039	0.032
			負-負(5)	無	11.3	10.4	0.052	0.030
BD-6243	624	425	正-負(5)	無	27.3	26.9	0.105	0.067
			負-負(3)	無	27.0	26.7	0.128	0.086
			正-正(3)	無	10.6	10.1	0.038	0.021
BD-5220	519	198	正-正(3)	無	13.2	12.8	0.050	0.034
			正-負(3)	無	10.7	10.0	0.020	0.015
			正-負(3)	無	10.8	10.0	0.065	0.038
			負-負(4)	無	12.1	12.6	0.026	0.020
			負-負(1)	無	14.2	13.9	0.046	0.030
			正-正(3)	無	10.6	10.1	0.038	0.021

注<4> PC板には方向性があるため、ここでは強方向を正、弱方向を負と呼び区別した。
<5> 載荷速度は、万能試験機の油圧バルブ開度を一定にし、毎秒0.02~0.03kg/cm²を目標にした。
<6> τ_v は、合成限界点荷重P_vを打ち継ぎ面(二面)の全断面積(1200cm²)で除した平均合成限界点応力度である。

階から δ が著しく増大する<せん断型>とに大別することが出来る。<付着型>は形状2でかかり代0mmの試験体がこれにあたる。この形状はダボによる引っかかりが少なく、 τ_v に達するまでは力の伝達をコンクリートの付着に依存する型である。<せん断型>は形状1でかかり代40mmの場合がこれにあたる。また形状1でかかり代のないもの、および形状2でスラブが有り、且つかかり代40mmのものは<付着+せん断型>の

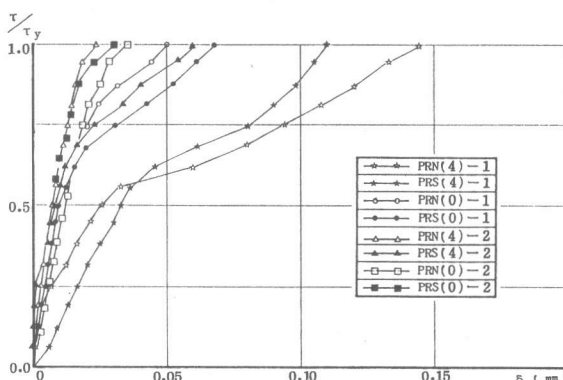


図-6 $\tau / \tau_v \sim \delta$ 関係

性状を示している。

4-3. 荷重～ずれ性状

最大荷重 P_{max} は、表-4 および表-5 に一覧する。

4-3-1. せん断破壊型の場合

形状1で、かかり代40mmの場合のP(荷重)～ δ 関係を図-7に、0mmの場合を図-8にそれぞれ示す。両者ともPが低い段階では直線的な性状を示すが、スラブの有る場合が約100Ton, 無い場合は約70Ton (P_y) で曲線は折れ曲がり、その後Pおよび δ が漸増し、Pで約2～3倍, δ で20～30倍とねばりをみせて終局に至る。スラブの付加による最大荷重の増大は約30tonである。

4-3-2. 支圧破壊型の場合

形状2で、かかり代40mmの場合のP～ δ 関係を図-9に、0mmの場合を図-10にそれぞれ示す。 P_y までは直線的な性状を示すが、せん断破壊型と違い、その後Pはほとんど上昇せず、 δ の増大が著しく、 P_y と P_{max} との差が小さい。

4-4. 破壊性状

図-7から図-10の図中に破壊状況を示す。破壊様式は、接合部の小梁側が破壊する(様式A), 接合部の大梁側で破壊する(様式B), および大梁のかかり代下部が破壊する(様式C)の三種類に大別出来る。形状1で、かかり代40mmの場合は様式Cが様式Aや様式Bに先行し、かかり代0mmの場合は様式Cが起り得ない。一方、形状2で、かかり代40mmの場合は様式Aが様式Cに先行し様式Bが起り得ない。またかかり代0mmの場合には打ち継ぎ面剝離後に大梁が外側へ移動し、かかりがはずれて終局に至る。また、PRN(4)-1-1は荷重200tonで7回の繰返し載荷を行ない小梁の抜け出し状況を観察したが、抜け出しは観られなかった。

5. 最大荷重

表-4に諸氏の提案式²⁾によるせん断強度と P_{max} の計算値を、表-5に P_{max} の実験値

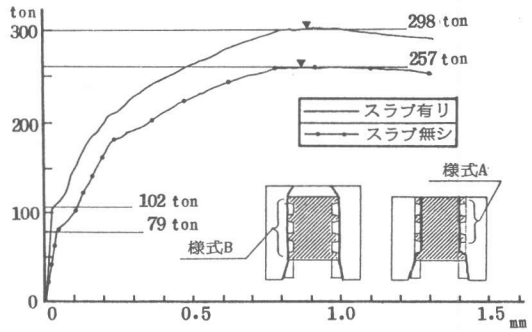


図-7 P～ δ 関係(形状1かかり代40mm)

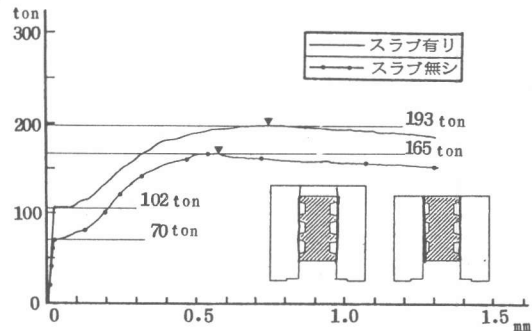


図-8 P～ δ 関係(形状1かかり代0mm)

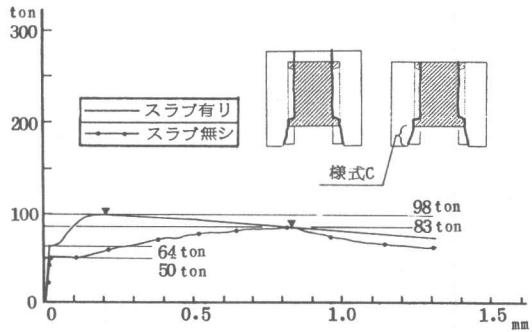


図-9 P～ δ 関係(形状2かかり代40mm)

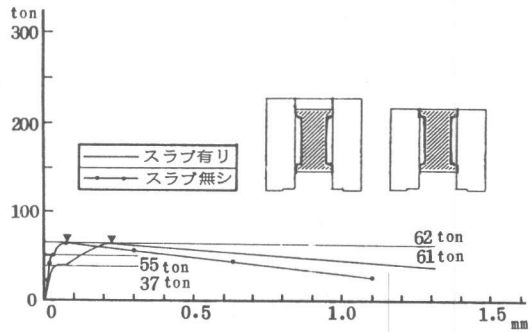


図-10 P～ δ 関係(形状2かかり代0mm)

表-4 最大荷重計算値一覧表

番号	試験体名称	圧縮強度 F_c (kg/cm ²)		引張強度 F_t (kg/cm ²)		せん断強度 $\tau^{(8)}$ (kg/cm ²)		最大荷重計算値 (ton)				
		小梁	大梁	小梁 ⁽¹²⁾	大梁 ⁽¹³⁾	小梁	大梁	<7>	<8>	<9>	<10>	<11>
1	PRN(4)-1-1	536	—	62.5	—	183	—	151	301	283	192	212
2	PRN(4)-1-2	476	—	55.5	—	163	—	134	268	250	171	188
3	PRN(0)-1-1	—	237	—	27.7	—	81.0	94	187	176	120	131
4	PRN(0)-1-2	—	237	—	27.7	—	81.0	94	187	176	120	131
5	PRN(4)-2-1	—	236	—	27.7	—	80.9	79	158	148	101	110
6	PRN(4)-2-2	—	236	—	27.7	—	80.9	79	158	148	101	110
7	PRN(0)-2-1	—	237	—	27.7	—	81.0	—	—	—	—	—
8	PRN(0)-2-2	—	237	—	27.7	—	81.0	—	—	—	—	—
9	PRS(4)-1-1	—	236	—	27.7	—	80.9	149	297	279	190	208
10	PRS(4)-1-2	—	236	—	27.7	—	80.9	149	297	279	190	208
11	PRS(0)-1-1	—	237	—	27.7	—	81.0	130	261	245	167	183
12	PRS(0)-1-2	—	237	—	27.7	—	81.0	130	261	245	167	183
13	PRS(4)-2-1	539	236	62.9	27.7	184	81.0	88	177	166	113	124
14	PRS(4)-2-2	546	236	63.7	27.7	186	81.0	89	178	167	114	125
15	PRS(0)-2-1	—	237	—	27.7	—	81.0	—	—	—	—	—
16	PRS(0)-2-2	—	237	—	27.7	—	81.0	—	—	—	—	—

注<7> Mohrの提案式 $\tau = 0.5 \cdot F_c \cdot F_t$, <8> Mörschの提案式 $\tau = 1.0 \cdot F_c \cdot F_t$,
 <9> Leonの提案式 $\tau = (F_c / F_t - 1) \cdot F_t$, <10> 小阪の提案式 $\tau = F_t / \sqrt{1.25 \cdot m}$, $m = (n+2+2\sqrt{n+1}) / n^2$, $n = F_c / F_t$,
 <11> 東の提案式 $\tau = 0.24 \cdot F_c$, <12> $F_t = 0.07 \cdot 3 / 5 \cdot F_c$, <13> $F_t = 1.8 / F_c$, をそれぞれ用いて計算した。

をそれぞれ一覧する。

計算値は、実験後の破壊面から破壊面積を仮定し、材料試験の結果を用いて算出した。一般に直接二面せん断試験においては二面が同時に破壊することはまれであり、最大荷重からせん断強度を精算することは難しい。しかし、本実験ではせん断強度の下限としてMohrの提案式 $\tau = 0.5 \cdot \sqrt{F_c \cdot F_t}$, 上限としてMörschの提案式 $\tau = 1.0 \cdot \sqrt{F_c \cdot F_t}$ を用いれば最大荷重がこの範囲におさまる。

6. 合成限界点の推定

図-11は、 τ_y と低い方のコンクリート強度 F_c との関係を示したものである。図中の直線は文献¹⁾にて提案した式であり、平均値が $\tau_y = 0.06 \cdot F_c$ で示される。今回の実験における合成限界点にも同一の式が適用できる。

図-12は、 τ_y とそれに対応する打ち継ぎ面のずれ δ_y との関係を示したものである。図では $\delta_y = 0.05\text{mm}$ 付近に集中する傾向がみられるが、³⁾ 回帰線による近似により小梁の形状やスラブの有無、かかり代

表-5 最大荷重実験値一覧表

番号	試験体名称	$P_{max.}$ (ton)	$\delta_{max.}$ (平均) (mm)	破壊様式 ⁽¹⁴⁾	仮定破壊面積 (cm ²)	
					小梁	大梁
1	PRN(4)-1-1	—	—	—	1645	—
2	PRN(4)-1-2	257.3	0.950	様式A	1645	—
3	PRN(0)-1-1	172.7	0.716	様式B	—	2310
4	PRN(0)-1-2	164.7	0.819	様式B	—	2310
5	PRN(4)-2-1	82.8	0.835	様式C	—	1950
6	PRN(4)-2-2	98.4	0.713	様式C	—	1950
7	PRN(0)-2-1	61.1	0.052	支持部ずれ	—	—
8	PRN(0)-2-2	66.0	—	支持部ずれ	—	—
9	PRS(4)-1-1	297.6	1.219	様式B	—	3220
10	PRS(4)-1-2	282.2	0.823	様式B	—	3220
11	PRS(0)-1-1	193.9	0.699	様式B	—	3220
12	PRS(0)-1-2	—	—	—	—	3220
13	PRS(4)-2-1	97.5	0.858	様式C	560	910
14	PRS(4)-2-2	112.1	0.762	様式C	560	910
15	PRS(0)-2-1	—	—	支持部ずれ	—	—
16	PRS(0)-2-2	61.6	0.218	支持部ずれ	—	—

注<14> 図-7および図-9の凡例に示す。

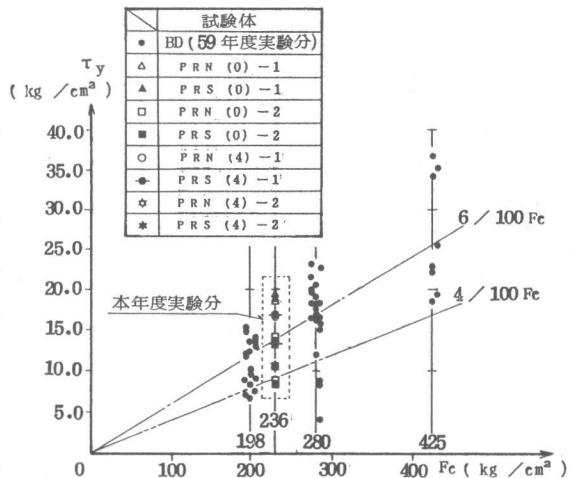


図-11 合成限界点応力度の推定

の如何に関わらず、 δ_y は τ_y に比例して
 $\delta_y = 0.005 \cdot \tau_y - 0.025$ の式が適用できる。

7. 合成限界点と最大荷重の相関

図-13は、縦軸に荷重をとり、 P_y と
 P_{max} の計算値および実験値の相対関係が
 分かりやすいように図示したものである。

図より、 P_{max} の実験値は、特に形状1
 の場合スラブの有無よりもかかり代により
 受ける影響が大きい、 P_y はかかり代や
 スラブおよび小梁形状の如何によらず、ほ
 ぼ一定であることが分かる。

P_y に対する P_{max} の実験値の比は、形状
 1では1.90~3.50だが、形状2では1.11~
 1.70と小さく、形状1は形状2に比較して
 余力がある。

8. まとめ

以上をまとめるとつぎのようになる。

(1) 強度の異なるコンクリートの打ち
 継ぎ面における直接二面せん断試験では、
 打ち継ぎ面の形状やコンクリート強度の大
 小に関わらず、最大荷重点に至る以前に打
 ち継ぎ面のずれやひずみが急激に変化する
 点(本論文では合成限界点と定義)が存在
 する。

(2) 本実験より得られた最大荷重は、
 せん断強度の下限としてMohrの提案式
 $\tau = 0.5 \cdot \sqrt{F_c \cdot F_t}$ 、上限としてMörschの提案式
 $\tau = 1.0 \cdot \sqrt{F_c \cdot F_t}$ をそれぞれ用いて計算し
 た最大荷重の範囲におさまる。

(3) 合成限界点応力度(τ_y)は、打
 ち継ぎ面の形状には無関係に、低い方のコ
 ンクリート強度(F_c)に比例して、下限値は
 $\tau_y = 0.04 \cdot F_c$ 、平均値は $\tau_y = 0.06 \cdot F_c$ と推定できる。

(4) 合成限界点における打ち継ぎ面のずれ(δ_y)は合成限界点応力度(τ_y)に比例すると
 考えられ、 $\delta_y = 0.005 \cdot \tau_y - 0.025$ と推定できる。

(5) 形状1は形状2よりも最大荷重(P_{max})が高く、合成限界点荷重(P_y)に対する最大
 荷重(P_{max})の倍率も、1.70~3.50倍と大きい。

参考文献) 1)小森清司,「合成床スラブ打継面の付着せん断耐力とずれに関する実験的研究」日本建築学会九州支部研究報告第28号
 昭和60年3月 pp.221~224 2)東 洋一, 他,「コンクリートのせん断強度試験法に関する研究」日本建築学会大会学術講演梗概集
 (北海道)昭和53年9月 pp.183~184 3)乙藤憲一, 他,「コンクリート合成桁の接合面に関する研究」プレストレストコンクリート
 Vol.9, No.2, April 1967 pp.8~18

謝辞) 本実験に御協力戴いた長崎大学大学院生渡辺淳一, 同学生浅野秀晃, 桜本博幸, 堤信賢, 中島茂, 冷川則文, および, 九州大学工学部
 建築学科富井研究室の諸氏に深謝致します。

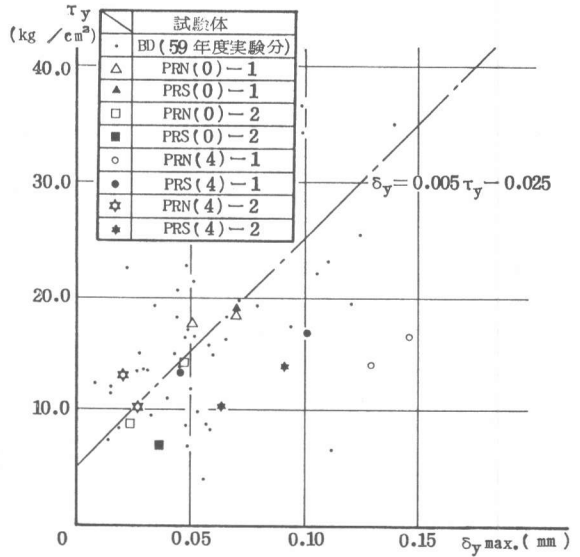


図-12 合成限界点におけるずれの推定

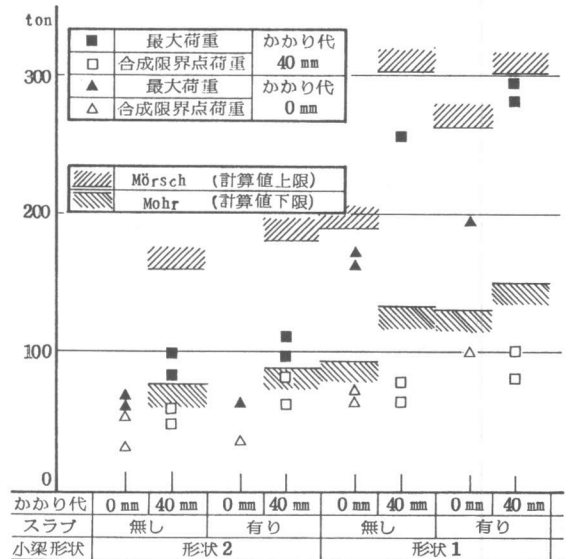


図-13 合成限界点荷重と最大荷重