

コンクリート合成桁の接合面に関する研究

乙 藤 憲 一*・笹 戸 松 二*・浜 本 富 美 雄*
御 子 柴 光 春*・大 西 清 治**

1. 緒 論

現在一般に使用されている PC ポストテンションング T 型桁橋は、一応完成した形態になっていると考えられるが、高速自動車道路橋の設計施工という観点からみるとまだまだ改良したい点がある。たとえば 1) 橋梁面の縦横断曲線に対する施工の柔軟性、2) 橋梁完成後の塑性変形量の減少による走行性、などの点だけでも改良されるならば、よりいっそう目的に合致した構造とすることができると考えられる。

そこで、最近諸外国においてさかんに採用されている、プレキャスト PC 桁と場所打 RC 床版とを組み合わせた、いわゆるコンクリート合成桁を考えてみることにした。しかし、日本におけるコンクリート合成桁に関する資料が現状では少ないので、ここに設計施工上の基礎資料を得る目的で一連の実験を行なった。

2. 目 的

現在一般に用いられている一体打 PC 桁の挙動、とくに載荷状態時の挙動については、これまでも多くの研究がなされているが、PC 合成桁についてはその資料も少なくなく、設計施工を行なう上で問題となる点も少なくない、それ等を列挙するとつぎのようである。

1) 接合面の仕上げ状態により、桁の一体性に影響があると考えられるが、一般に行なわれている“こて仕上げ”の程度で十分であるか。

2) 接合面で、桁と床版を結びつけている結合鉄筋とコンクリート接合面の各断面積の比を鉄筋比とすると、桁と床版の合成の程度は、鉄筋比に比例して増加することが期待できると考えられる。必要な強度を出させるには、どの程度の鉄筋比となるか。

3) 接合面にずれが生じたときの応力度を初期せん断応力度、その後をせん断応力度と呼ぶことにすると接合面の状態および鉄筋比は、初期せん断応力度とせん断応

力度にどのように影響するか。

4) 接合面に沿ってのずれは、どのような状態になるか。またこの状態が荷重の位置によりどのように変わるか。

5) 結合鉄筋は、桁のスターラップをそのまま延長して用いる方法が施工上望ましいが、その形状、配置および最大間隔をどのように定めたらよいか。

6) 接合面に力が作用したとき、結合鉄筋一本当りの降伏および破壊強度はどれほどであるか。

これらの諸問題について解決の端緒を得る目的で、各種の試験体を用いて Push-off 試験、小型桁試験および中型桁試験の三項目について順次段階を追って試験を行なった。試験結果の解析にあたっては、一部に統計数学上の技法を用いて、得られた測定値を分析、検定してその有意性を制定することをこころみた。

3. 試験の方法

コンクリート接合面の基本的性質を調べるために、純せん断試験に近い Push-off 試験を行ない、この性質を桁で確認するためにスパン 1.30 m の小型桁試験を行ない、最後にこれ等二項目の試験結果を参考にして、スパン 8.00 m の実物に近い中型桁を設計して載荷試験を行なった。

(1) 試験体の条件

本試験に用いた試験体の条件はつぎのとおりである。

a) コンクリートの強度 桁部コンクリートの目標圧縮強度は載荷試験時(材令 14 日) $\sigma_{14}=350 \text{ kg/cm}^2$ と $\sigma_{14}=400 \text{ kg/cm}^2$ の 2 種類とし、床版部コンクリートの設計圧縮強度は通常 $\sigma_{28}=240 \text{ kg/cm}^2$ を用いているが、この試験では一体打と比較する目的もあり、載荷試験時(材令 7 日)の目標圧縮強度を $\sigma_7=350 \text{ kg/cm}^2$ とした。

b) 結合鉄筋 結合鉄筋は SD 35, $\phi 16 \text{ mm}$ を Γ 型として使用し、その鉄筋比(コンクリートの接合面積と鉄筋断面積の比) $p=0\%$, 0.6% , 1.2% , 1.8% の 4 種類を用い、中型桁のみの $p=0.66\%$ 1 種類を用いた。

c) 接合面の状態 接合面の状態として、つぎの 3

* 日本道路公団

** オリエンタルコンクリート株式会社

種類を用いた。

一体型：桁部と床版部を同時に打設する。

合成型：桁部のコンクリート打設後、接合面を“木ゴテ”仕上げをし、材令一週間で床版コンクリートを打継ぎ、その後一週間で載荷試験をする。

絶縁型：桁部コンクリートを打設し、接合面を木ゴテ仕上げをし、一週間養生した後にその面に石けん液（4% 溶液）を塗布し、面が乾いたときにコンクリートを打設し、その後一週間で載荷試験をする。

(2) 試験体の種類

図-1 Push-off 試験体

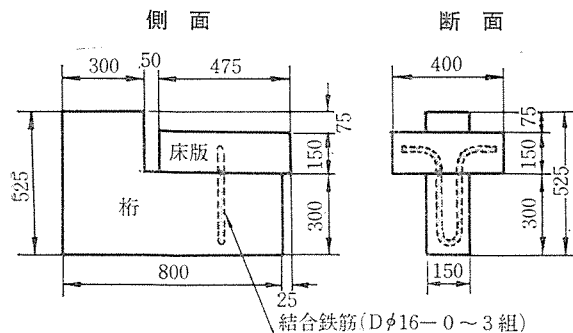


図-2 小型桁試験体

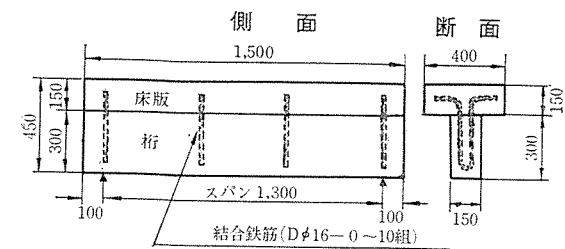
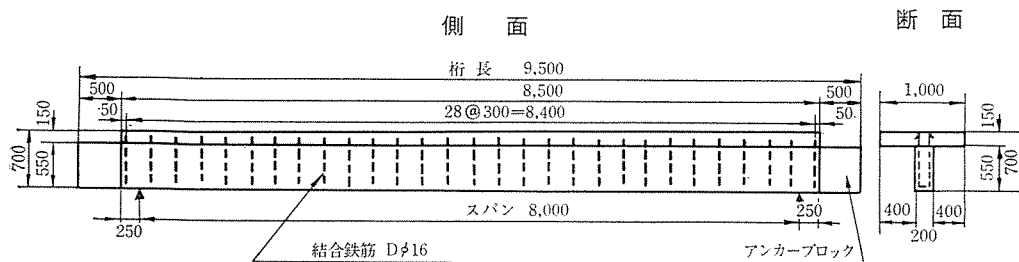


表-1 Push-off 試験体一覧表

	桁のコンクリートの強度 σ_{14} (kg/cm ²)	製 作 数				
		A $p=0$	B $p=0.6$	C $p=1.2$	D $p=1.8$	計
一体	350	2	2	2	2	8
	400	—	—	—	—	—
合成	350	2	2	2	2	8
	400	2	2	2	2	8
絶縁	350	—	2	2	2	6
	400	—	2	2	2	6

(床版コンクリート強度 $\sigma_c=350$ kg/cm²)

図-3 中型桁試験体



試験体の種類は Push-off、小型桁および中型桁の 3 種で、その型状寸法は 図-1~3 に示すとおりである。

試験体の数は 表-1~3 に示すごとくである。

表-2 小型桁試験体一覧表

	A $p=0$	B $p=0.6$	C $p=1.2$	D $p=1.8$	計
一体型	2	2	2	2	8
合成型	2	2	2	2	8
絶縁型	—	2	2	2	6

(床版 $\sigma_c=350$ kg/cm², 桁 $\sigma_{14}=400$ kg/cm²)

表-3 中型桁試験体一覧表

桁番号	載荷幅 (m)	せん断スパン (m)	載荷状態
1	6	1	
2	2	3	
3	4	2	
4	7	0.5	
5	5	1.5	

(3) 試験体の材料

セメントは小野田早強ポルトランドセメントを用い、細骨材は荒川産、粗骨材は道志川産を使用した。

結合鉄筋は神戸製鋼所製 $\phi 16$ mm, SD 35 を使用し、その引張試験結果を 表-4 に示す。P C 鋼線は神鋼鋼線鋼索株式会社製の $\phi 7$ mm を使用した。

表-4 鉄筋の引張試験結果

径 (mm)	試験体	Y.P. (kg/mm ²)	T.S. (kg/mm ²)	E(%)	曲げ試験
D $\phi 16$	JIS Z 2201 2号試験片	40 (> 35)	59 (> 50)	28 (> 18)	良好

4. 試 験

(1) Push-off 試験

試験は 図-4、写真-1 に示すごとく、アムスラータイプ 200 t 圧縮試験機を用いて、荷重 0 t より結合面に相対ずれ発生まで載荷した後、再び 0 t にもどし、その後は 2 t ピッチでくり返し荷重を増加して、破壊まで載荷した。測定は接合面の両側に 1/1 000 mm ダイアルゲージ 2 台を設置して、各荷重段階で測定を行った。

(2) 小型桁試験 200 t 圧縮試験機

を用いて、図-5、写真-2 に示すようにスパン 1.30 m の桁の中央に一点載荷荷重を 2 t 刻みで増加しながら、接合面に設置した 1/1 000 mm ダイアルゲージ 19 台により水平方向の

図-4 Push-off 試験装置

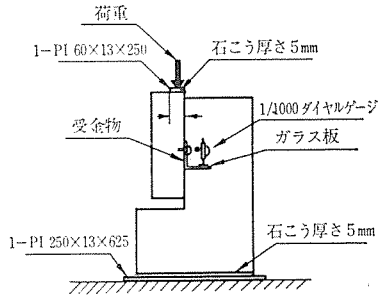
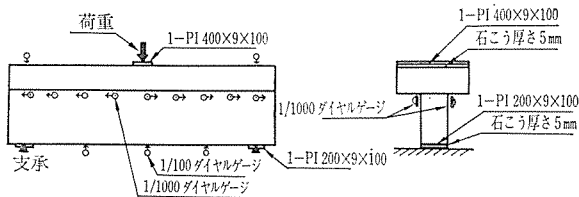


写真-1 Push-off 試験の状況



図-5 小型桁試験装置



ずれを測定し、1/100 mm ダイアルゲージ 5 台により鉛直方向のたわみを測定した。

(3) 中型桁試験

200 t 大型試験台を用いて、図-6 に示す 5 種類のせん

写真-2 小型桁試験の状況

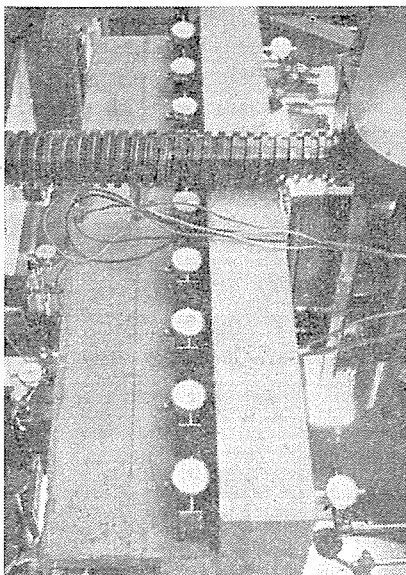
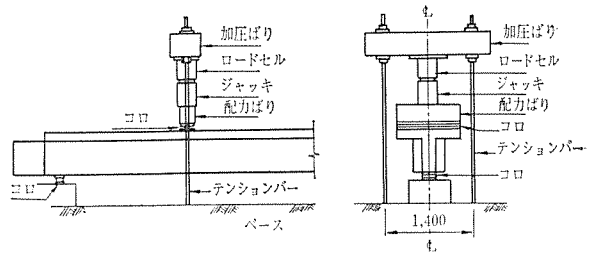
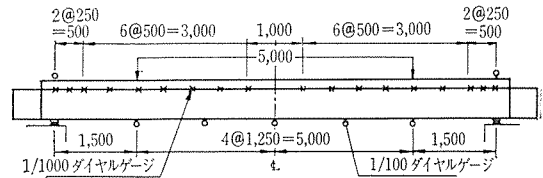


図-6 中型桁試験装置

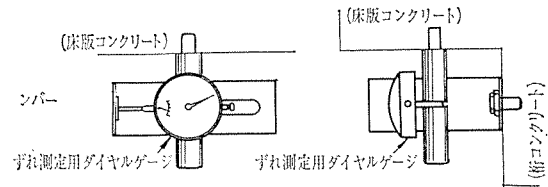
(a) 載荷装置



(b) ダイアルゲージ配置

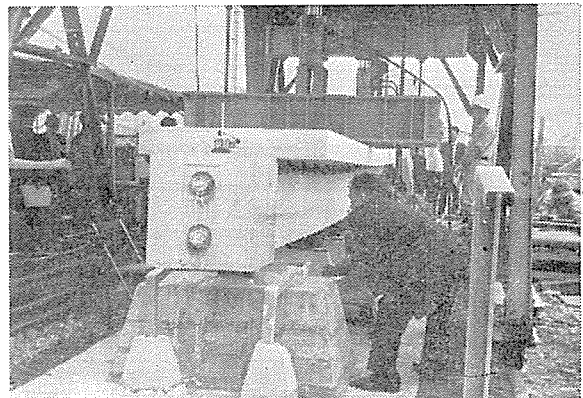


(c) ダイアルゲージ取付け図



断スパンにより載荷試験を行なうとともに、接合面に配置した 1/1 000 mm ダイアルゲージ 36 台と、桁の上下面に配置した 1/100 mm ダイアルゲージ 7 台を用いて、水平方向のずれおよび鉛直方向のたわみを測定した。

写真-3 中型桁試験状況



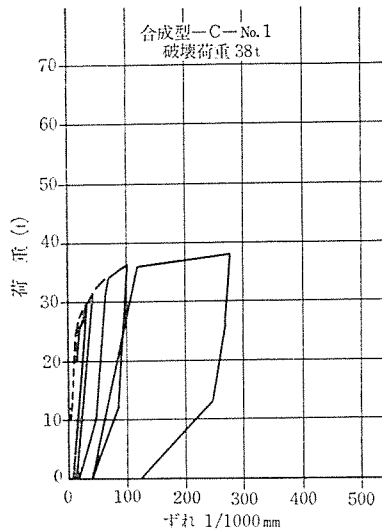
5. 試験結果とその考察

(1) Push-off 試験における初期せん断応力度

一体型、合成型の試験体は、床版と桁の相対変位が生じるまで荷重を増加し、変位が生じたときの荷重を接合面積で割った値を初期せん断応力度とする。つぎに荷重を 0 まで下げ、2 t ピッチで荷重を増加しながら 1 t にもどすことをくり返し、破壊まで載荷した。これらの一例を図-7 に示す。また Push-off 試験結果をまとめて表-5 に示す。

合成型と一体型の初期せん断応力度を比較するために表-5よりコンクリート圧縮強度と荷重を両集団よりおのおの8個サンプリングして、両集団の平均値の間に差があるか否かを統計数学上のF分布⁴⁾、t分布⁴⁾を用いて検定をするとつぎのようである。

図-7 荷重-ずれ曲線の一例



バラツキ(分散)が等しいかをF分布を用いて検定する。ここにA:合成型, B:一体型とする。

各平方和を S_A, S_B 自由度を $n-1, k-1$ とすると等分散の検定より,

$$F_0 = \frac{S_A}{n-1} / \frac{S_B}{k-1} = \frac{47297}{7} / \frac{35344}{7} = 1.338 < F(7, 7, 0.05) = 3.79^{(4)}$$

$F_0 < F$ となったので、危険率5%で両者は等分散という仮設がすてられないで、等分散の仮説が成立するので、つぎに平均値の差の検定をt分布を用いて行なうことができる。

各サンプル平均を \bar{x}_A, \bar{x}_B 不偏分散を V とすると,

$$t_0 = \frac{\bar{x}_A - \bar{x}_B}{\sqrt{V\left(\frac{1}{n} + \frac{1}{k}\right)}} = \frac{286.6 - 278.5}{\sqrt{853.7/4}} = 0.555 < t(14, 0.05) = 2.145^{(4)}$$

a) 両集団のコンクリート強度 まず両者の強度の

よって両集団の母平均は危険率5%で等しいという仮説

はすてられない。

表-5 Push-off 試験結果一覧表

		コンクリート圧縮強度		初期せん断力		0.05 mm ずれ		破 壊		結合鉄筋一本当りの破壊荷重
		床版 σ_7 (kg/cm ²)	桁 σ_{14} (kg/cm ²)	強 度 (t)	応力度 (kg/cm ²)	強 度 (t)	応力度 (kg/cm ²)	強 度 (t)	応力度 (kg/cm ²)	
一 体 型	A-1	—	393	32.0	47.7	—	—	32.0	47.4	—
	A-2	—	353	32.0	47.4	—	—	32.0	47.4	—
	B-1	—	365	26.5	39.3	34.0	50.4	43.4	64.3	21.7
	B-2	—	326	26.5	38.5	26.0	38.5	30.9	45.8	15.5
	C-1	—	171	23.0	34.1	23.0	34.1	30.7	45.5	7.7
	C-2	—	205	24.0	35.6	28.0	41.5	34.9	51.7	8.7
	D-1	—	228	32.0	47.4	38.0	56.5	45.2	67.0	7.5
	D-2	—	252	34.0	50.3	38.0	56.5	54.4	80.5	9.1
合 成 型	A-1	230	385	23.7	35.1	—	—	23.7	35.1	—
	A-2	300	370	23.2	34.4	—	—	23.2	34.4	—
	A'-1	392	380	25.5	37.8	—	—	25.5	37.8	—
	A'-2	350	355	32.2	47.7	—	—	32.2	47.7	—
	B-1	230	385	25.1	37.2	—	—	25.1	37.2	12.6
	B-2	300	370	27.2	40.3	28.0	41.5	29.8	44.2	14.6
	B'-1	392	320	26.5	39.3	—	—	26.5	39.2	13.2
	B'-2	350	355	31.6	46.8	—	—	31.6	46.8	15.8
	C-1	230	350	28.0	41.5	33.0	48.9	38.0	56.3	9.5
	C-2	300	405	29.0	43.0	37.0	54.8	44.2	65.5	11.1
	C'-1	259	231	26.9	39.9	24.0	35.6	31.1	46.1	7.8
	C'-2	259	231	26.4	39.2	30.0	44.4	36.7	54.4	9.2
D-1	258	267	30.0	44.5	35.0	51.9	44.8	66.4	7.5	
D-2	258	267	28.0	41.5	34.0	50.4	46.6	69.0	7.8	
D'-1	237	242	30.0	44.5	36.0	53.3	42.0	62.2	7.0	
D'-2	237	242	30.0	44.5	34.0	50.4	46.6	69.0	7.8	
絶 縁 型	B-1	235	378	—	—	10.0	14.8	13.0	19.3	6.5
	B-2	250	361	—	—	5.5	8.2	14.9	22.1	7.5
	B'-1	290	328	—	—	8.0	11.8	12.2	18.1	6.1
	B'-2	237	312	—	—	8.0	11.8	11.4	16.9	5.7
	C-1	235	378	—	—	17.0	25.2	23.5	34.8	5.9
	C-2	250	361	—	—	8.0	11.8	23.1	34.2	5.8
	C'-1	290	328	—	—	12.0	17.8	24.0	35.6	6.0
	C'-2	237	312	—	—	9.0	13.3	19.2	28.4	4.8
	D-1	235	410	—	—	18.0	26.6	32.4	48.0	5.4
	D-2	250	350	—	—	12.0	17.8	26.6	39.3	4.5
	D'-1	290	307	—	—	18.0	26.6	33.5	49.6	5.6
	D'-2	237	327	—	—	13.0	19.3	31.3	46.4	5.2

b) 両集団の初期せん断応力度

同様に検定をする。

$$F_0 = 127.47/36 = 3.540$$

$$< F(7, 7, 0.05) = 3.79$$

ゆえに等分散,

$$t_0 = \frac{28.7 - 27.0}{\sqrt{6.53/4}} = 1.338$$

$$< t(14, 0.05) = 2.145$$

ゆえに, $\mu_A = \mu_B$

以上の検定により、コンクリート強度が同じであれば合成型と一体型の初期せん断応力度は危険率5%で同じであると考えられる。

(2) 接合面のずれ量と合成作用

合成桁が一体打ち桁の性質から重ね合せばりのような性質に変化する点を見出すために、小型桁試験により接合面のずれ量の変化とたわみ変化とを調べた。

桁のたわみ変化の一例を図-8に、荷重とずれ経過の一例を図-9に、小型桁試験結果をまとめて表-6に示す。

図-8の荷重-たわみ曲線を見ると、荷重がある点に達すると、たわみが増加する点が見い出される。このたわみの増加する荷重を合成効果に変化が生じたものと考えて、このときの荷重に対する接合面の最大ずれ量を求めてみると、合成型の場合のずれ量は平均0.0535mm、一体型の場合のずれ量は平均0.0595mmであった。いまこ

図-8 荷重-たわみ図の一例

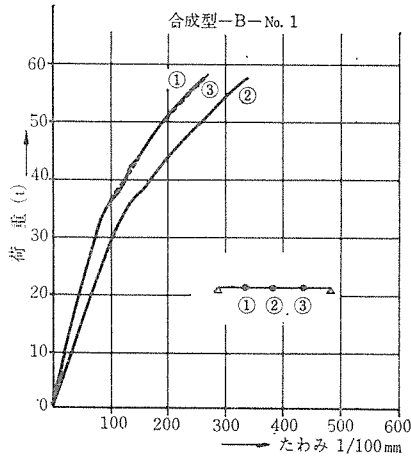


図-9 荷重-ずれ経過図の一例

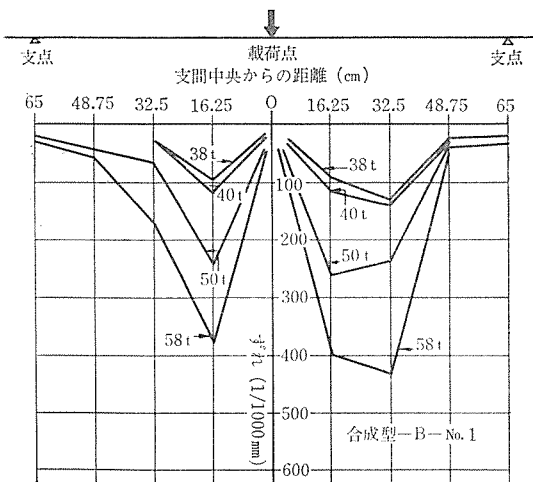


表-6 小型桁試験結果一覧表

試験体の種類	コンクリートの圧縮強度		0.05 mm のずれ		破 壊		
	床版 σ_7 (kg/cm ²)	桁 σ_{14} (kg/cm ²)	荷 重 (t)	応 力 度 (kg/cm ²)	荷 重 (t)	応 力 度 (kg/cm ²)	
一 体 型	A-1	—	349	36.0	39.8	67.0	74.0
	A-2	—	349	39.0	43.1	69.2	76.5
	B-1	—	440	44.0	48.6	75.5	83.4
	B-2	—	440	43.0	47.5	68.5	76.0
	C-1	—	294	40.0	44.2	81.0	89.5
	C-2	—	294	44.0	48.6	81.0	89.5
	D-1	—	331	45.0	49.7	100.2	110.7
	D-2	—	331	41.0	45.3	94.0	103.9
合 成 型	A-1	225	327	42.0	46.4	71.0	78.5
	A-2	233	395	38.0	42.0	67.2	74.3
	B-1	225	327	36.0	39.8	65.0	71.8
	B-2	233	395	39.0	43.1	68.6	75.8
	C-1	216	306	37.0	40.9	84.9	93.8
	C-2	234	389	43.0	47.5	76.5	84.5
	D-1	216	306	38.0	42.0	83.3	92.0
	D-2	234	389	41.0	45.3	93.1	102.9
絶 縁 型	B-1	307	391	18.0	19.9	55.5	61.3
	B-2	264	256	21.0	23.2	54.6	60.3
	C-1	307	391	22.0	24.3	72.3	79.9
	C-2	264	256	22.0	24.3	67.8	74.9
	D-1	303	374	24.0	26.5	80.5	89.0
	D-2	248	293	23.0	25.4	77.7	85.9

のずれ量を 0.05 mm と考えて、このときの荷重とたわみ変化の荷重との関係を知るために相関係数、回帰分析を用いて検定をする。

a) 試料相関係数の計算 合成型、一体型のたわみ変化荷重および 0.05 mm ずれ荷重をまとめたものを変数変換した値とともに表-7 に示す。この値を用いて試料相関係数 r を求めるとつぎのようになる。

表-7 たわみ変化 -0.05 mm ずれ荷重表

No.	名 称	たわみ変化荷重 (x)	0.05 mm ずれ荷重 (y)	X	Y
1	合 A-1	37	42	2	7
2	A-2	38	38	3	3
3	B-1	36	36	1	1
4	B-2	40	39	5	4
5	C-1	38	37	3	2
6	C-2	40	43	5	8
7	D-1	40	38	5	3
8	D-2	40	41	5	6
9	体 A-1	36	36	1	1
10	A-2	38	39	3	4
11	B-1	38	44	3	9
12	B-2	40	43	5	8
13	C-1	40	40	5	5
14	C-2	42	44	7	9
15	D-1	44	45	9	10
16	D-2	40	41	5	6
	Σ	627	646	67	86

$$X_i = (x_i - 35), Y_i = (y_i - 35)$$

$$r = \frac{S(xy)}{\sqrt{S(xx) \cdot S(yy)}} = \frac{62.875}{\sqrt{66.438 \times 128.75}} = 0.68$$

r 表¹⁾ より, $r(\phi-2, 0.01) = 0.6226$

$\therefore |r| = |0.68| > r(14, 0.01) = 0.6226$

相関係数は危険率 1% で有意となり、たわみ荷重 (x) と 0.05 mm ずれ荷重 (y) との間には高度の相関関係が認められる。

b) 母相関係数の区間推定 z 変換¹⁾ を用いて母相関係数の 95% 信頼限界を求めると、

$$\text{下限値} = Z - \frac{1.96}{\sqrt{n-3}} = 0.286$$

$$\text{上限値} = Z + \frac{1.96}{\sqrt{n-3}} = 0.878, 0.286 < P < 0.878$$

となる。

c) 回帰直線の推定 相関が有意と判定されたのでたわみ荷重 (x) と 0.05 mm ずれ荷重 (y) の関数関係を明らかにするため x に対する y の回帰直線を推定する。

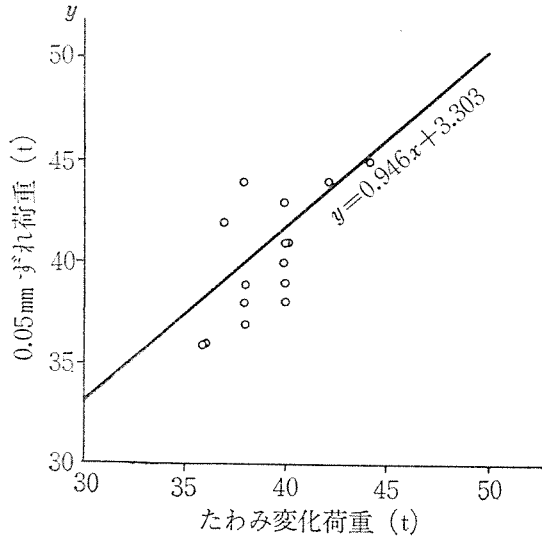
回帰直線を与える式は、 $y - \bar{y} = b(x - \bar{x})$

$$\text{ただし、} b = \frac{S(xy)}{S(xx)}$$

先にもとめた値を代入すると、 x に対する y の回帰直線は、 $y = 0.946x + 3.3$

この回帰直線を散布図に記入した結果を図-10 に示す。

図-10 散 布 図



d) 回帰分析 つぎに回帰直線によって、 x から y を推定することができるかを判定するために回帰分析を行なう。

回帰による変動

$$S_R = \frac{\{S(xy)\}^2}{S(xx)} = \frac{62.875^2}{66.438} = 59.503$$

回帰からの変動

$$S_{yx} = S(yy) - S_R = 128.75 - 59.50 = 69.25$$

以上の計算を分散分析表にまとめれば表-8のようになる。この結果回帰によるバラツキは高度に有意となりこの回帰直線により x から y を推定できることが明らかとなった。

解析の結果、たわみ変化荷重(x)と0.05mmずれ荷重(y)の間には高度の相関があり、しかも x に対する y の回帰線によって、 x から y を推定できることが

表-8 回帰分析に対する分散分析表

要 因	S	ϕ	V	F_0	$F(0.05)$	$F(0.01)$
回帰による	59.50	1	59.50	12.02**	4.60	8.86
回帰からの	69.25	14	4.95	—	—	—
計	128.75	15	—	—	—	—

明らかにされた。

すなわち、桁のたわみ変化は、接合面のずれによって大きく支配され、ずれ量が0.05mmに達すると、桁は一体型の剛性からしだいに重ね合せばりの剛性に変化しその剛性の減少にともない桁のたわみは増大する傾向を示している。

Push-off 試験についても荷重—ずれの関係は、同様にずれ量0.05mmに達すると変化が大きくなる傾向を示している。この結果と小型試験の結果をまとめて図-11に示す。

以上より、Push-off 試験は桁の合成作用についての接合面の性質を調べるに有力な手段となるものと考えられる。また接合面のずれ0.05mmは、コンクリート合成桁の性質を決める重要な値の一つと考えられる。

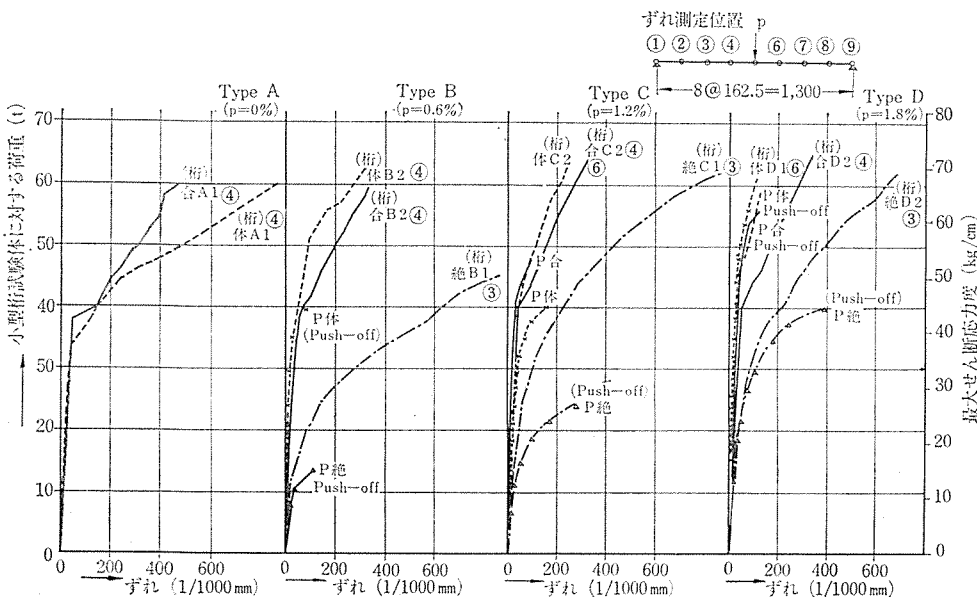
(3) 接合面の状態とせん断応力度の関係

接合面における、三種類の状態“絶縁型、合成型、合成型および一体型”が桁の合成効果および破壊強度に与える程度を知るために、測定結果に影響を与える原因と

表-9 0.05mm ずれ荷重に対する二元配置表

B(鉄筋比)	B _i ($p=0.6\%$)		
	B ₁ ($p=0.6\%$)	B ₂ ($p=1.2\%$)	B ₃ ($p=1.8\%$)
A(面の状態)	(t)	(t)	(t)
A ₁ (絶縁)	8	12	15
A ₂ (合成)	28	31	35
A ₃ (一体)	30	34	38

図-11 Push-off と小型試験のせん断応力度—ずれ曲線



して、A：面の状態、B：鉄筋量の二要因を考え、それぞれを3水準に取り二元配置法により分散分析を行ないそれらの影響、程度を数量的に裏付けしてみる。

a) ずれ0.05mmに対する荷重の計算 Push-off 試験結果(表-5)より、ずれ0.05mmに対する荷重を求めて二元配置表にまとめたものを表-9に示す。

表-9に示す値は各測定値の平均で、計算の簡

単のため小数值以下をまるめてある。A₃B₂ は欠測値の算法により補正した⁴⁾、ゆえに誤差の自由度 $\phi = (l-1)(m-1) - 1$ と減少する、 $X_{ij} = (x_{ij} - 25)$ の数値変換をし、各平方和を求めると、

1) 総変動

$$S_T = \sum \sum x_{ij}^2 - T..^2 / lm = 974$$

2) 接合面による変動

$$S_A = \sum T_i.^2 / m - T..^2 / lm = 892.7$$

3) 鉄筋比による変動

$$S_B = \sum T \cdot j^2 / l - T..^2 / lm = 80.7$$

4) 誤差変動

$$S_E = S_T - S_A - S_B = 0.6$$

これらをまとめて分散分析表を作ると表-10のごとくなる。

表-10 ずれ 0.05 mm 荷重に対する分散分析表

要因	S	ϕ	V	F ₀	F(3 ² , 0.05)	F(3 ² , 0.01)
面の状態 A	892.7	2	446.35	2220**	9.55	30.82
鉄筋比 B	80.7	2	40.35	217**	—	—
誤差 E	0.6	3	0.2	—	—	—
計 T	974.0	7	—	—	—	—

この結果接合面の状態 (A)、鉄筋比 (B) のいずれも危険率 1% で有意であることがわかった。すなわち A, B のいずれも各水準間に差がある。

つぎに A の母平均の水準の推定をする。

信頼度 95% の推定の幅は、 $t(\phi_E, 0.05) \sqrt{\frac{V_E}{m}}$ で与えられるので、各水準はつぎのごとくなる。

$$A_1: \bar{x}_1 \pm t(\phi_E, 0.05) \sqrt{\frac{V_E}{m}}, 10.9 t < \hat{\mu}_1 < 12.5 t$$

$$A_2: \bar{x}_2 \pm \quad \quad \quad, 30.5 < \hat{\mu}_2 < 32.1$$

$$A_3: \bar{x}_3 \pm \quad \quad \quad, 33.2 < \hat{\mu}_3 < 34.8$$

となる。

各水準間の差の検定、推定

危険率 5% で各水準間の有意差を推定すると、

A₁, A₂ の場合

$$d = t(\phi_E, 0.05) \sqrt{V_E \left(\frac{1}{m} + \frac{1}{n} \right)} \times \frac{1}{b} = 1.15$$

A₃ の場合 $d = 1.81$

$$A_1 \text{ と } A_2 \text{ の間: } \bar{x}_1 - \bar{x}_2 = 19.6 > d = 1.15$$

$$A_1 \text{ と } A_3 \text{ の間: } \bar{x}_1 - \bar{x}_3 = 22.3 > d = 1.81$$

$$A_2 \text{ と } A_3 \text{ の間: } \bar{x}_2 - \bar{x}_3 = 2.7 > d = 1.81$$

といずれの場合も有意である。

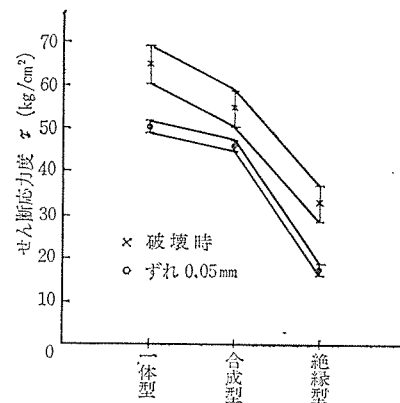
以上の結果をまとめて図-12 に示す。

b) 破壊荷重についての計算 同様に二元配置を用いて分散分析をすると表-11, 12 のようになる。変数変換 $X_{ij} = (x_{ij} - 30)$ として計算する。

A の母平均の水準の推定

$$A_1: 19.1 t < \hat{\mu}_1 < 24.9 t,$$

図-12 接合面の状態 (A) とせん断応力度の関係



$$A_2: 33.8 < \hat{\mu}_2 < 39.6$$

$$A_3: 40.8 < \hat{\mu}_3 < 46.6$$

A の各水準間の差の検定

$$A_1 \text{ と } A_2 \text{ の間} = 14.7 > 4.1$$

$$A_1 \text{ と } A_3 \text{ の間} = 21.7 > 4.6$$

$$A_2 \text{ と } A_3 \text{ の間} = 7 > 4.6$$

これらの結果をまとめてずれ荷重と一緒に図-12 に示す。

以上の解析結果、接合面の状態は 0.05 mm ずれおよび破壊荷重に影響

表-11 破壊荷重に対する二元配置法

A \ B	B		
	B ₁ (t)	B ₂ (t)	B ₃ (t)
A ₁	13	22	31
A ₂	28	37	45
A ₃	37	44	50

表-12 破壊荷重に対する分散分析表

要因	S	ϕ	V	F ₀	(F ₃ ² , 0.05)	F(3 ² , 0.01)
A	733.6	2	366.9	147**	9.55	30.82
B	383.9	2	191.9	77**	—	—
E	7.4	3	2.5	—	—	—
T	1124.9	7	—	—	—	—

することが明らかにされた。すなわち、ずれ 0.05 mm 荷重の場合は、合成型は一体型に近く、絶縁型とはまったく異なった性質を示す。破壊荷重の場合も大体同様な傾向を示すが、それらの差は前者と少し異なった性質を示している。

(4) 鉄筋とせん断応力度の関係

接合面における結合鉄筋の量 (鉄筋比) が、桁の合成効果、破壊強度に与える程度を知る方法として、先に 5.(3) で求めた二元配置の要因 B について調べることにより、鉄筋のみの影響を知ることができるが、ここでは接合面の状態三種類に対しおのおの回帰直線をあてはめ、鉄筋比とせん断応力度の回帰分析を行なって検定する方法を用いる。

a) 合成桁のずれ量 0.05 mm の場合 表-5 より指定変数 (x) として鉄筋比 p, 従属変数 (y) としてずれ 0.05 mm に対する荷重を求め、これらを表-13 に

表-13 合成桁の鉄筋比と荷重の関係

x (鉄筋比 %)	0.6	1.2	1.2	1.2	1.2	1.8	1.8	1.8	1.8
y (荷重 t)	28	33	37	24	30	35	34	36	34

示す。この値を変数変換して $X = \frac{x}{0.6}$, $Y = y - 20$ において回帰直線を求める、まず方向係数 b は、

$$b = \frac{\sum XY - \frac{\sum X \sum Y}{n}}{\sum X^2 - \frac{(\sum X)^2}{n}} = \frac{273 - \frac{21 \times 111}{9}}{53 - \frac{(21)^2}{9}} = 3.5$$

よって求める回帰直線は $Y' - \bar{Y} = b(X - \bar{X})$ より、

$$Y' - 12.33 = 3.5(X - 2.33)$$

$$\therefore Y' = 3.5X + 4.175$$

として与えられる。

つぎに回帰の直線性の検定を行なうために、各平方和を算出してみる。

総平方和

$$S_T = \sum (Y - \bar{Y})^2 = \sum Y^2 - \frac{(\sum Y)^2}{n} = 1511 - \frac{111^2}{9} = 142$$

級間平方和

$$S_B = \sum \frac{T^2}{n} - \frac{(\sum Y)^2}{n} = 1418 - 1369 = 49$$

誤差平方和

$$S_W = S_T - S_B = 142 - 49 = 93$$

この級間平方和を回帰にもとづく平方和 S_R と回帰の周りの平方和 S_E にわける。

回帰にもとづく平方和

$$S_R = b^2 \left[\sum X^2 - \frac{(\sum X)^2}{n} \right] = 3.5^2 \left[53 - \frac{21^2}{9} \right] = 49$$

回帰のまわりの平方和

$$S_E = S_B - S_R = 49 - 49 = 0$$

したがって、つぎの表-14 のような分散分析表を得る。

表-14 回帰分析に対する分散分析表

要 因	S	ϕ	V	E_0	$F(\phi^2, 0.05)$
回帰にもとづく	49	1	49	—	4.46
回帰のまわり	0	1	0	0	—
級 間	49	2	24.5	—	—
級 内	93	7	13.3	—	—
計	142	9	—	—	—

よって回帰が直線的であるという仮説はすてられない。すなわち、直線をあてはめることに意味がある。回帰直線の変数変換をもとにもどすと、

$$y - 20 = 3.5 \times \frac{x}{0.6} + 4.175$$

$$\therefore y = 5.83x + 24.175 \text{ (t)}$$

荷重 y を接合面面積で割って、せん断応力度 τ について求めると、

$$\tau = y/0.675 = 8.637p + 35.815 \text{ (kg/cm}^2\text{)}$$

この式を用いて

図-13 鉄筋比とせん断降伏応力度

散分図に実際に回帰直線をあてはめたものを図-13に示す。

b) 回帰直線のあてはめと分散分析 先と同様な手法を用いて、合成型、一体型、絶

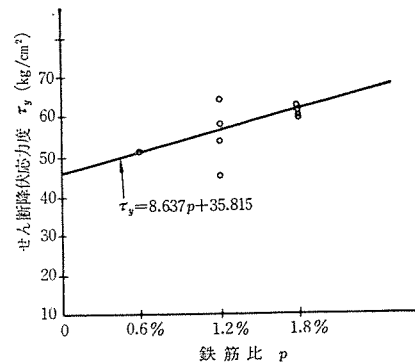


表-15 鉄筋比とせん断応力度の関係

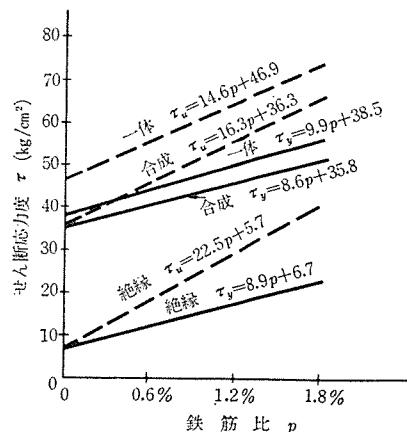
種 類	0.05mm ずれ荷重 破壊荷重	せん断応力度 (kg/cm²)
絶 縁 型		$\tau_y = 8.9p + 6.7$ $\tau_u = 22.5p + 5.7$
合 成 型		$\tau_y = 8.6p + 35.8$ $\tau_u = 16.3p + 36.3$
一 体 型		$\tau_y = 9.9p + 38.5$ $\tau_u = 14.6p + 46.9$

表-16 各回帰分析に対する分散分析表

		$F_0 = V_E/V_W$ と $F(\phi_E, \phi_W, 0.01)$	検 定
絶 縁 型	0.05mm ずれ荷重	0.004 < 5.12	直線である
	破壊荷重	0.181 < 5.12	〃
合 成 型	0.05mm ずれ荷重	0 < 4.46	〃
	破壊荷重	1.440 < 3.88	〃
一 体 型	0.05mm ずれ荷重	2.705 < 18.51	〃
	破壊荷重	0.007 < 9.55	〃

縁型について、ずれ 0.05 mm 荷重および破壊荷重の場合におのおの回帰直線を求めて、分散分析により回帰が直線であるという仮説に対する検定を行なった結果をまとめて表-16に示す、また鉄筋比とせん断

図-14 鉄筋比とせん断応力度



応力度の関係をまとめて表-15 および図-14に示す。

解析の結果、ずれ 0.05 mm 荷重および破壊荷重はおのおの結合鉄筋の量に関係し、この間に比例関係が認められた。

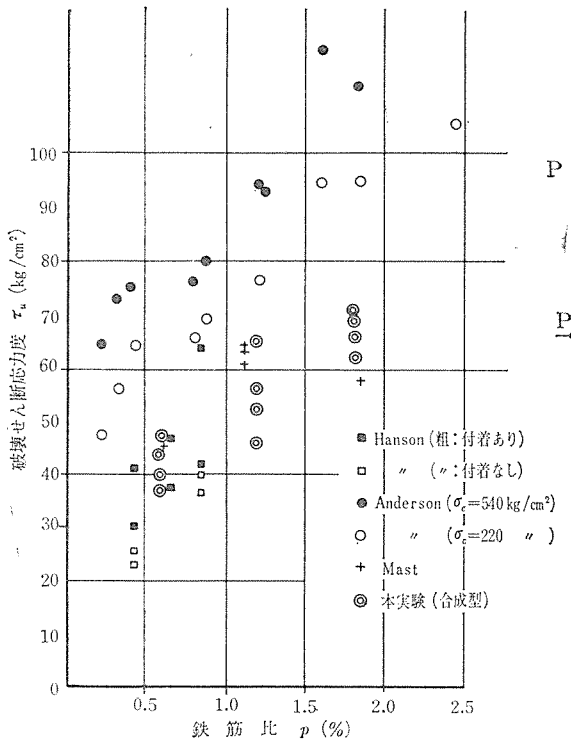
すなわち、ずれ 0.05 mm 荷重は鉄筋比 $p=1\%$ の増加に対し、せん断応力度 $4\tau_y=9\sim 10 \text{ kg/cm}^2$ の増加を示

し破壊荷重は $4\tau_u = 15 \sim 23 \text{ kg/cm}^2$ の増加を示している。

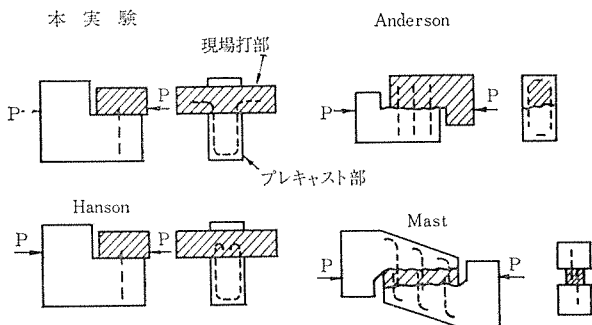
鉄筋比と破壊せん断応力度について、Hanson, Anderson, および Mast の諸氏が行なった実験の結果³⁾ に、本実験の合成型の破壊せん断応力度の測定値を加えたものを 図-15 に示す。この図によると本実験の値は、他の実験値と比較して低くまた $p=1\%$ の増加に対する $4\tau_u$ の増加も低いことが認められる。これは実験の条件等が異なるためと考えられる。

図-15 鉄筋比と破壊せん断応力度についての諸実験との比較

(a) 鉄筋比とせん断応力度



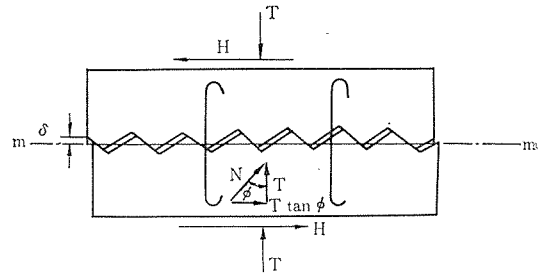
(b) 試験体の形状



c) 結合鉄筋の作用についての考察 結合鉄筋の作用について Birkeland³⁾ が提案する考え方を本実験に適用してみると、これらの現象をある程度理解できると思われる。

Birkeland の理論は、図-16 に示すコンクリートブロックにおいてせん断破壊面 $m \sim m$ を仮想し、この面に水平力 H が作用すると、その面の粗さによって上下

図-16 Birkeland の接合面模型

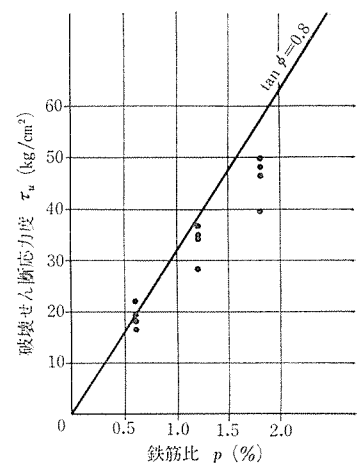


方向に δ なるすき間が生じることになる、この場合面に垂直に結合鉄筋が配置されていれば、 δ に比例して鉄筋に T なる引張力が発生するとともに、逆に T なる力で面を圧縮することになる。すなわちせん断面は摩擦力でせん断力を伝達すると考える方法である。いま面の粗さをまさつ角 ϕ で表わすと 破壊せん断力 $H_u = T_u \tan \phi = A_s \sigma_y \tan \phi$ 、破壊せん断応力度 $\tau_u = \frac{H_u}{A_c} = p \sigma_y \tan \phi$ によって τ_u は鉄筋比 $p = A_s/A_c$ に比例するといえる。

この場合の $\tan \phi$ の値は接合面の状態により異なり、一体型の場合 1.7、合成型の場合 1.4、絶縁型の場合 0.8~1.0 前後となるといっている。

本実験結果と Birkeland 理論を比較するために、絶縁型において、 $\tan \phi = 0.8$ とした値と測定値を 図-17 に示す。

図-17 Birkeland 理論と実験値



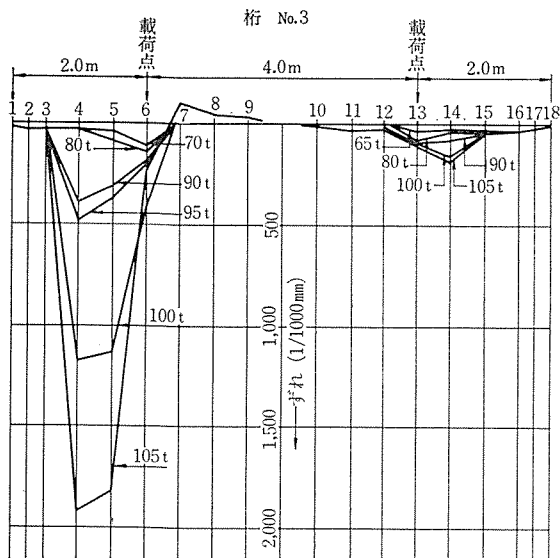
その結果、 $p=0\%$ の場合に測定値は $\tau_u = 5.7 \text{ kg/cm}^2$ 、Birkeland 式は $\tau_u = 0 \text{ kg/cm}^2$ となり、またこう配も $\tan \phi = 0.8$ に対し 0.56 となっているが、傾向として、結合鉄筋の引張力と接合面の摩擦力を伝達する考えは、結合鉄筋の性質を良く表わしていると考えられる。

(5) 桁と床版の相対ずれの性質

小型桁および中型桁の載荷点と支承の間におけるせん断力は、大体において一様に作用していると考えられるので、その間におけるずれの発生も一様となるはずであるが、ダイヤルゲージを用いて各点のずれ量を測定した結果、図-9 および 図-18 に示すごとく、ずれ量の分布は、その両点を底辺として中央に頂点を有する三角形形状をなしている。

この傾向に対してつぎのようなことが考えられる。すなわち一般にはりに荷重を加えた場合、その支承付近に

図-18 中型桁の荷重—ずれ曲線の一例



おいては反力の作用により、桁と床版の接合面に、鉛直方向の大きな圧縮力が作用し、せん断力に対し有利に働くことはよく知られていることである。一方荷重位置においても同様なことが考えられる。このように桁のせん断スパンの両端は鉛直圧縮力によりずれが発生しにくくなるので最大ずれはその中間に発生しやすくなる。

いま小型桁において、鉛直圧縮力の分布を 45° と仮定して考えてみると、最大ずれ発生位置はスパン中央より 25 cm の位置と推定される。一方測定の結果はスパン中央より 16.3~32.5 cm の間に最大ずれが発生しているので、この推定値と測定値は良く合っていると考えられる。

(7) せん断スパンとせん断応力度

荷重点と支承との距離、すなわちせん断スパンの大きさが桁のせん断抵抗力とどのような関係にあるかを調べるために中型桁において表-3 に示すように、5種類のせん断スパンを用いて荷重試験を行なった。

ずれの分布は、どのせん断スパンの場合においても原則として三角形分布をなしていることが認められた、いまここに

せん断スパンを桁高で除したものを X と置くと、接合面における 0.05 mm ずれ発生時のせん断応力度 τ は、 X が大きい場合に桁は曲げによって左右されるためにずれが大きくなる前に曲げで破壊したが、 X が小さくなるにしたがって、この値は次第に大きくなる傾向を示している。測定値に回帰曲線をあてはめてその性質を求めてみるとつぎのようになる。

$$\tau_y = 7.8 X^2 - 37.8 X + 86.5 \text{ (kg/cm}^2\text{)}$$

またずれがさらに増大して、破壊に到達した場合の関係を調べてみる、 X が 2 以下の場合には測定されたが、 X が 2 以下の場合には τ_u が 80 kg/cm² 以上となって、この装置では最終値を見い出すことができなかった。このような傾向に対して、Mattock²⁾ が $\tau = \frac{189}{X+5}$ なる関係式を提案していたが、Saemann が鉄筋の影響を考えてつぎのような関係を提案している。

$$\tau = \frac{189}{X+5} + 21 p \left(\frac{33-X}{X^2+6X+5} \right) \text{ (kg/cm}^2\text{)}$$

これらの式によって求められた曲線を先の回帰曲線とともに、測定値図に入れて 図-19 に示す。

中型桁試験の結果より、つぎのようなことが認められた。 $X > 4$ の場合は、桁の挙動は曲げによって左右され曲げ破壊時のせん断応力度を計算によって求めてみると、 $\tau = 36 \text{ kg/cm}^2$ 程度である。

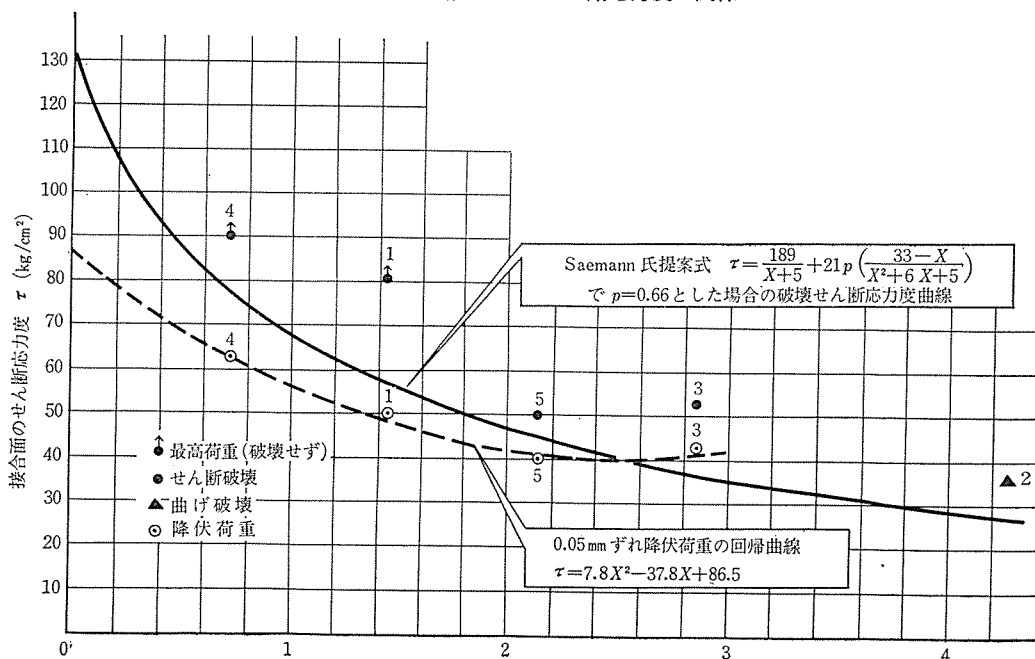
$2 < X < 3$ の場合、0.05 mm ずれに対するせん断応力度は、先に Push-off 試験で求めた表-15 の値、

$$\tau_y = 8.6 p + 35.8 = 8.6 \times 0.66 + 35.8 = 41.5 \text{ kg/cm}^2$$

に対して、測定値は $\tau_y = 40 \sim 42.5 \text{ kg/cm}^2$ とよく合っている。

$0 < X < 2$ の場合は、Push-off 試験結果の値より、

図-19 せん断スパンとせん断応力度の関係



接合面の耐力は増大し、 $\tau_y=50 \text{ kg/cm}^2$ 以上と X が小さくなるにしたがって、急激にその強度が増している。

破壊時においても、Saemann の提案しているごとくその傾向はますます強くなっていることが認められた。

6. 結 論

プレキャスト コンクリートに床版 コンクリートを打ち継いだコンクリート合成桁の性質を調べるため Push-off 試験 (36 個)、小型桁試験 (22 個) および中型桁試験 (5 本) による実験の結果を取りまとめてみるとつぎのようになる。

コンクリート合成桁の接合面の性質はきわめて複雑であり、また実験に供した試験体の数も十分でないので断定的に論ずることは不可能であるが、本実験の範囲内ではつぎのことがいえる。

1) Push-off 試験は、桁の合成効果に対する接合面の強度、性質を決定するに有力な手段と考えられる。

2) 初期せん断応力度は、コンクリート強度が同じであれば、合成型と一体型の間には差が認められない。

3) 接合面のずれ量が約 0.05 mm をこえると、桁の合成効果は次第に変化する。このことより、ずれ 0.05 mm はコンクリート合成桁の性質を決める重要な値の一つと考えられる。

4) 接合面のずれ量が 0.05 mm に達したときのせん断応力度は、その面の状態によって異なり、一体型と合成型との間ではその差は小さいが、絶縁型は前二者と比較して差が大きい。

破壊荷重時のせん断応力度も同様な傾向を示している。

5) 接合面の鉄筋比 (結合鉄筋と接合面積の比) とせん断応力度との関係はつぎのようになる。

a) ずれ 0.05 mm 荷重時：鉄筋比 p の 1% 増加に対して、せん断応力度 $\Delta\tau_y$ は $9\sim 10 \text{ kg/cm}^2$ 増加する。

b) 破壊荷重時：鉄筋比 p の 1% 増加に対し、 $\Delta\tau_u$ は $15\sim 23 \text{ kg/cm}^2$ 増加する。

c) 結合鉄筋の作用を説明する Birkeland の理論、すなわち鉄筋の引張強度と接合面の摩擦力によって、せん断力に抵抗する考えかたを測定値と比較した結果、結合鉄筋の性質を良く表わしていると考えられる。

6) 桁と床版の相対ずれの分布は三角形状となり、その最大値は支承と載荷点の間に見い出される。

7) 桁のせん断応力度は、そのせん断スパンに関係しせん断スパンが桁高の 2 倍以上の場合は、せん断応力度は Push-off 試験の結果と良く一致しており、桁高の 2 倍以下になると、抵抗せん断応力度は急激に増大する。

以上の実験結果を総合すると、およそつぎのことがいえる。

プレキャスト コンクリート桁に、床版を打ち継いだコンクリート合成桁の性質は、コンクリートの付着力とずれ抵抗および結合鉄筋が効果的に作用して、桁と床版を同時に打設した一体打コンクリート桁に近い性質を示し桁と床版との間に付着のない「絶縁型」の桁とは完全に異なっていることが認められた。

本研究を行なうにあたり実験ならびに資料の整理に協力をいただいた、オリエンタルコンクリート(株)鈴木素彦君、郡山 修君、遠藤 聡君に感謝の意を表します。

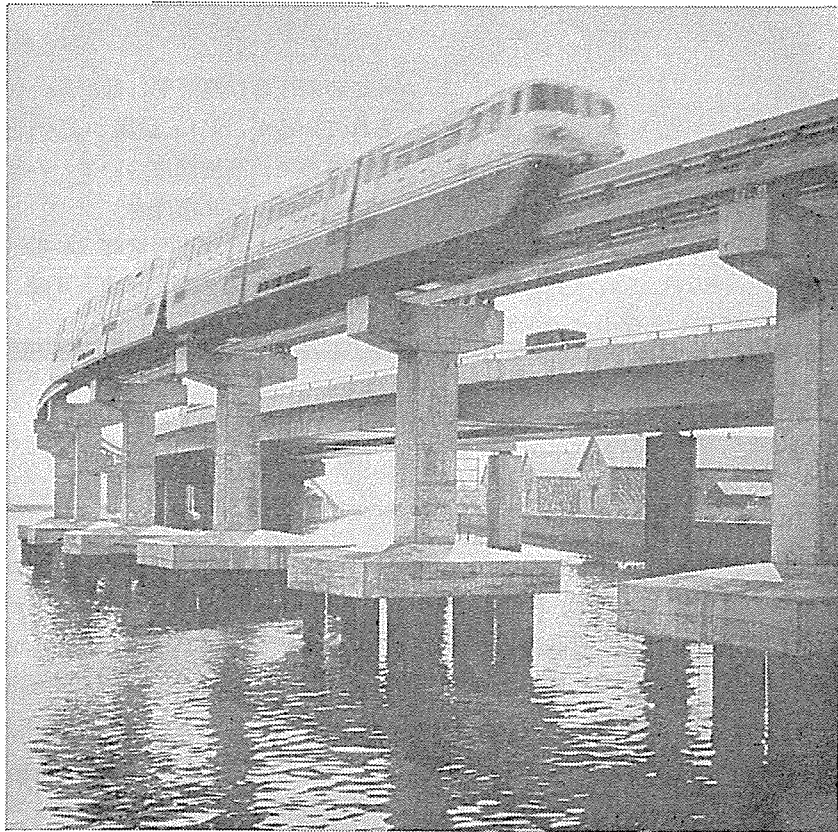
参 考 文 献

- 1) Hanson, N.W. : "Precast-Prestressed Concrete Bridges 2. Horizontal Shear Connections", J. of the P C A, May (1960)
- 2) Saemann, J.C. : "Horizontal Shear Connections Between Precast Beams and Cast-in-Place Slabs", J. of the A C I, November (1964)
- 3) Birkeland, H.W. : "Connections in Precast Construction", J. of the A C I, March (1966)
- 4) 統計数学関係の参考図書
 朝香鉄一：「品質管理のための統計数学」東京大学出版会
 日本科学技術連盟編：「統計理論」日科技連出版社
 東京工業大学統計工学研究会：「統計工学ハンドブック」技報堂
 品質管理便覧編集委員会編：「品質管理便覧」日本規格協会

1967.2.17・受付

NCS-PCパイプ

プレテンション方式 NCS溶接継手



NCS-PCパイプの特長

- ① 継手—全強であるから支持力の低減がいらぬ。
- ② 耐撃性—頭部が耐撃的であるため確実に打止りが得られる。よつて支持力に全材強を活用できる。
- ③ 曲げ剛性—プレストレスの効果によつて曲げ剛性が大きい。よつてパイプ施工中の安全はもちろん、くい基礎の経済設計ができる。



日本コンクリート工業株式会社

本社 東京都港区新橋1丁目8番3号(住友新橋ビル) 東京(573)大代表0361番
営業所 大阪市阿倍野区天王寺町南2の66 大阪(718)1881~5番
名古屋市中村区下広井町1丁目66番地(三建設備工業ビル) 名古屋(58)代表9706番
工場 川島(茨城県下館市) 下館 代表2181番
鈴鹿(三重県鈴鹿市) 鈴鹿(8)代表1155番
研究所 茨城県下館市川島工場内 下館 3942番