

論文

[2033] 周辺補剛梁を有するスラブにおけるせん断耐力に関する実験的研究

正会員○菅原 学 (JR東日本東北工事事務所)

正会員 石橋忠良 (JR東日本東北工事事務所)

正会員 齊藤啓一 (JR東日本東北工事事務所)

増子隆行 (JR東日本東北工事事務所)

1. はじめに

集中荷重を受ける鉄筋コンクリートスラブに関しては、今までにも多くの実験及び研究がなされており耐力算定式等も数多く提案されている。しかし、鉄筋コンクリートスラブにおけるせん断破壊機構には、材料の特性・スラブ形状・支承条件・荷重条件等が関係すると考えられ非常に複雑でありいまだ解明されていない点も多く有る。

今回、周辺補剛梁を有する鉄筋コンクリートスラブに荷重面積及び荷重位置等を変化させた等分布荷重を荷重したせん断試験を行ったので以下に報告する。

2. 実験概要

2. 1 供試体及び荷重位置

供試体諸元および荷重位置・荷重形状を、表-1に示す。

実験に用いたスラブは、図-1に示すような周囲にスラブと同時に打設した30cm×30cmの補剛梁を有するスラブ厚さ10cmの鉄筋コンクリートスラブである。鉄筋はD10を10cmピッチで上下に等方配筋した。ただし、No. 9の供試体は上側鉄筋の影響を調べるために下側みの配筋とした。

有効高さは、H方向については7cm、B方向については8cmである。

荷重は、スラブ中央とスラブの1/4の位置に正方形および長方形の荷重形状で行った。

表-1 供試体諸元

	供試体寸法 および 荷重寸法 (mm)						備 考
	B	H	BI	HI	PB	PH	
No. 1	1 300	1 300	650	650	100	100	
No. 2	"	"	"	"	300	300	
No. 3	"	"	"	"	"	700	
No. 4	"	"	"	"	200	"	
No. 5	"	2 600	"	1 300	300	300	
No. 6	"	1 300	825	650	"	"	
No. 7	"	"	"	"	"	700	
No. 8	"	"	650	"	200	200	
No. 9	"	"	"	"	300	300	単鉄筋

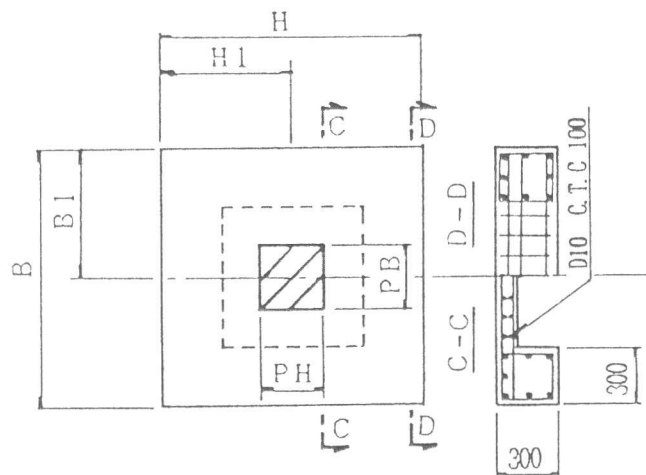


図-1 供試体概要図 (単位: mm)

2. 2 使用材料

セメントはJIS R 5210早強ポルトランドセメント、鉄筋はJIS G 3112熱間圧延異形棒鋼SD 30のD 10 ($\sigma_{sy}=3725 \text{ kgf/cm}^2$ ・ $\sigma_{sB}=5345 \text{ kgf/cm}^2$)をスラブ部分・D 13 ($\sigma_{sy}=3760 \text{ kgf/cm}^2$ ・ $\sigma_{sB}=5340 \text{ kgf/cm}^2$)とD 19 ($\sigma_{sy}=3480 \text{ kgf/cm}^2$ ・ $\sigma_{sB}=5240 \text{ kgf/cm}^2$)を補剛梁部分、粗骨材は最大骨材寸法20mm・粗粒率6.71のものを使用した。コンクリートの配合を、表-2に示す。

表-2 コンクリート配合

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 (%)	細骨材率 S/n (%)	単 位 量 (Kg/m ³)					
					水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	減水剤	A E 剤
20	812.5	4±1	70	49	180	275	896	943		1.3

2. 3 実験装置および荷重方法

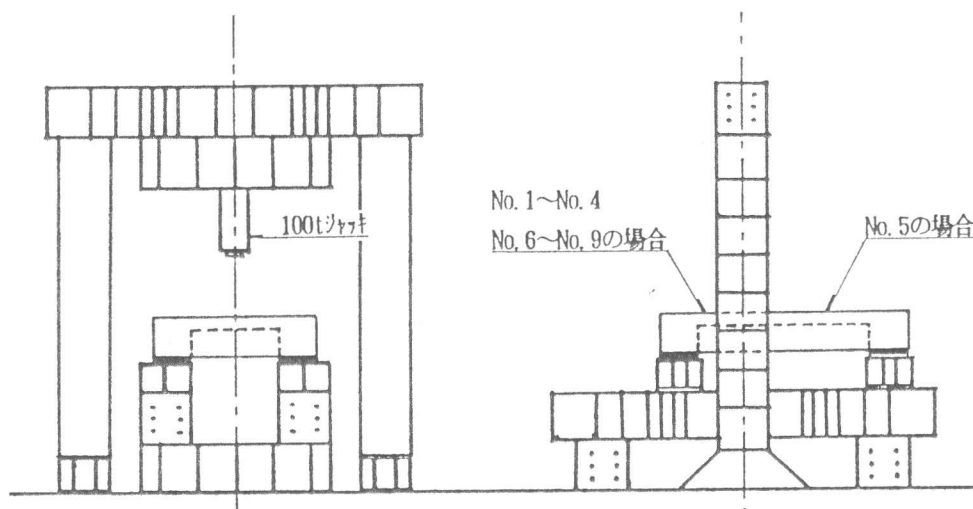


図-2 荷重装置

荷重装置を図-2に示す。荷重用ジャッキは100tジャッキを使用した。尚、ジャッキとスラブとの間には、硬質ゴムシート数枚重ね、その間に消防用耐圧ホースに砂を詰めたものを挟み込んで使用した。また、ゴムシート間にテフロンシートを挟んでいる。荷重部分の概要を図-3に示す。

支承は、補剛梁部分の4隅で単純支持（硬質ゴムシートを数枚重ねて置き、その上にスラブを載せた）し、隅角部の浮き上がりは自由にした。

2. 4 測定項目および測定位置

スラブおよび周辺補剛梁の鉄筋歪みはストレインゲージ、たわみおよび支点沈下はダイヤルゲージ（9点）、周辺補剛梁の側方変位は傾斜計（4点）を用いて測定した。各種計器の取り付け位置を図-4に示す。

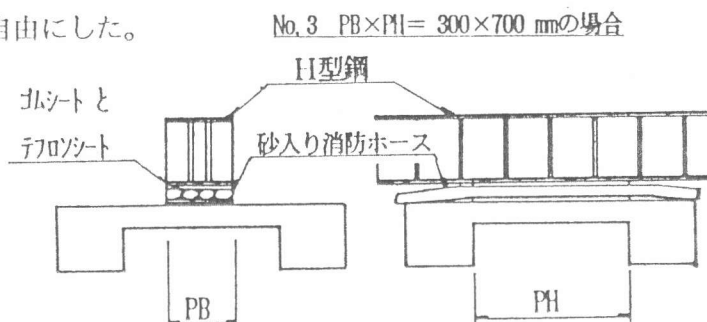
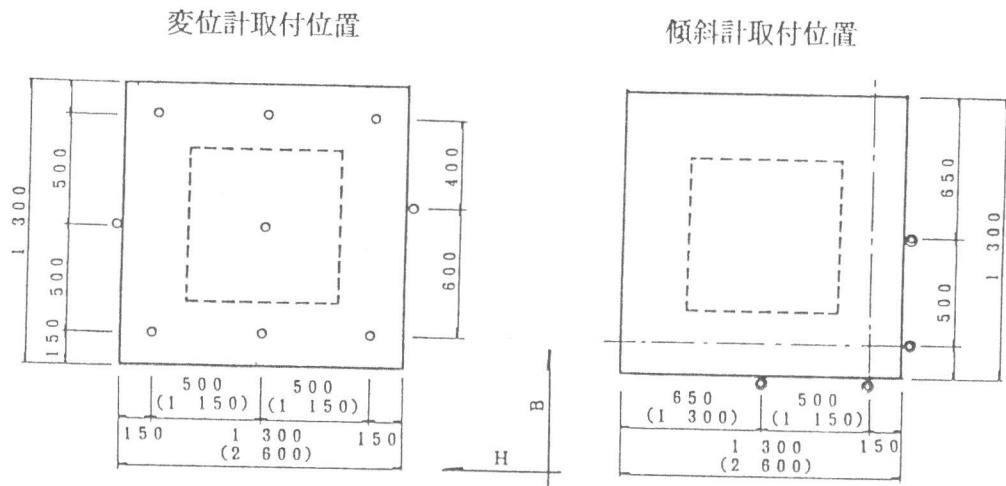


図-3 荷重部分の概要



() はNo. 5の場合

図-4 計器取り付け位置 (単位: mm)

3. 実験結果および考察

試験結果を表-3に示す。

供試体は9体全て押し抜きせん断破壊により破壊した。

ひびわれは最初、スラブ下面の荷重中心付近から発生した。スラブ下面のひびわれは荷重中心より放射状に発達した。スラブ上面のひびわれは補剛梁と同一方向に最初に発生し、荷重部分を囲うように発達し最終的には一重の円形もしくは楕円形を形成した。周辺補剛梁におけるひびわれは、梁下面の角部(外側)より

表-3 試験結果一覧

No	供試体寸法、及び荷重寸法 (mm)						圧縮強度 (kgf/cm ²)	破壊荷重 (tf)	備考
	B	H	B1	H1	PB	PH			
1	1300	1300	650	650	100	100	317	27.0	押し抜きせん断破壊
2	"	"	"	"	300	300	319	45.0	"
3	"	"	"	"	"	700	319	82.0	"
4	"	"	"	"	200	700	334	89.3	"
5	"	2600	"	1300	300	300	336	41.5	"
6	"	1300	825	650	"	"	287	49.5	"
7	"	"	"	"	"	700	289	85.0	"
8	"	"	650	"	200	200	311	38.0	"
9	"	"	"	"	300	300	290	52.0	"

多く発生し梁側面では梁上面方向へ、梁下面では内側方向へ発達していく傾向がみられた。特に、梁側面のひびわれは、上面方向へ伸びていくにしたがい支点方向へ傾いていく傾向があった。ひびわれの状況の一例を図-5に示す。

スラブは、特に目立った前兆を伴わず急激に荷重部分近傍が落ち込み、円錐形もしくは楕円錐形に押し抜かれるように破壊した。スラブ中央の荷重とたわみとの関係を図-6、下側鉄筋の荷重と歪みとの関係を図-7に示す。

せん断破壊した供試体を、破壊面にそってはつり破壊面を観察した。スラブ部分における荷重部分を斜線、スラブ全厚の1/2における破壊位置を点線で結んだものを図-8~16(単位:mm)中に示す。

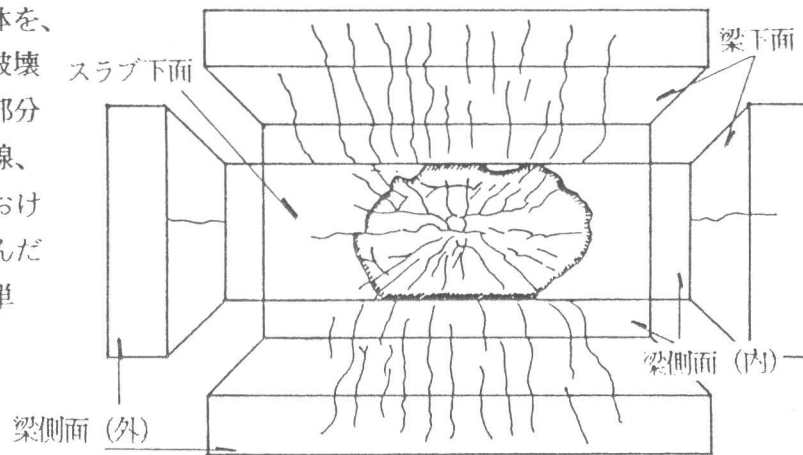


図-5 破壊時のひびわれ (No. 5)

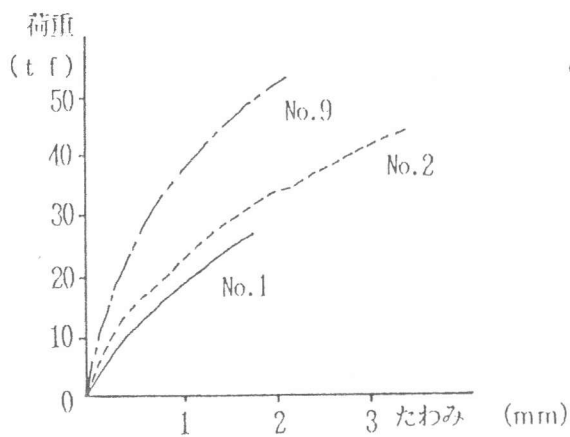


図-6 スラブ中央の荷重とたわみ

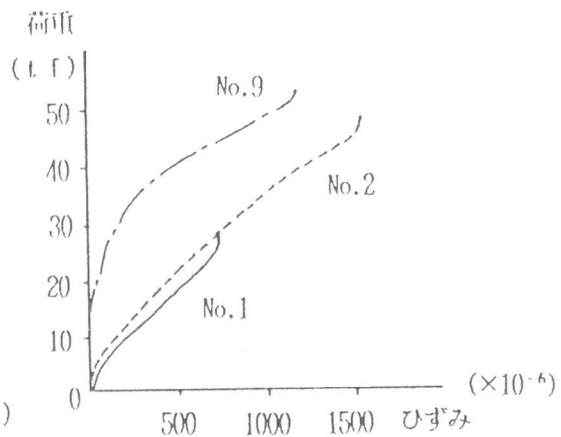


図-7 スラブ中央の荷重と鉄筋歪み

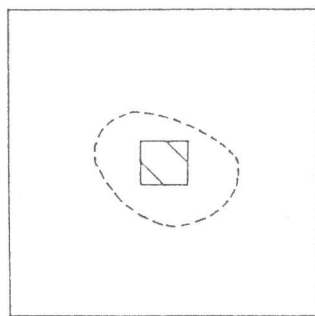


図-8 No. 1 破壊面(700×700)

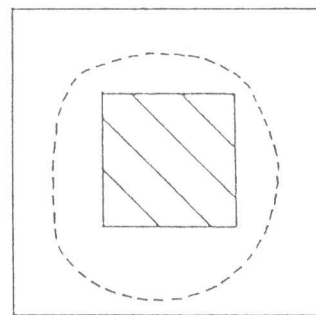


図-9 No. 2 破壊面(700×700)

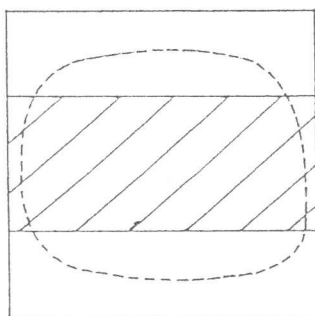


図-10 No. 3破壊面(700×700)

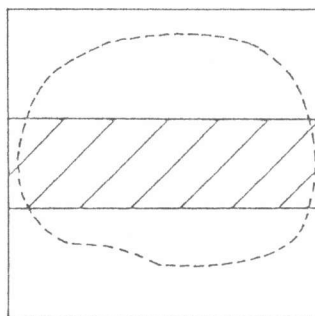


図-11 No. 4破壊面(700×700)

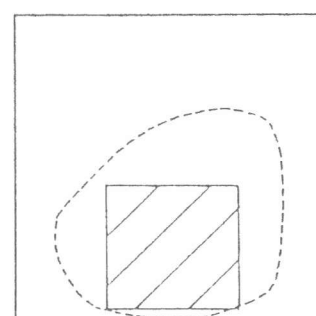


図-12 No. 6破壊面(700×700)

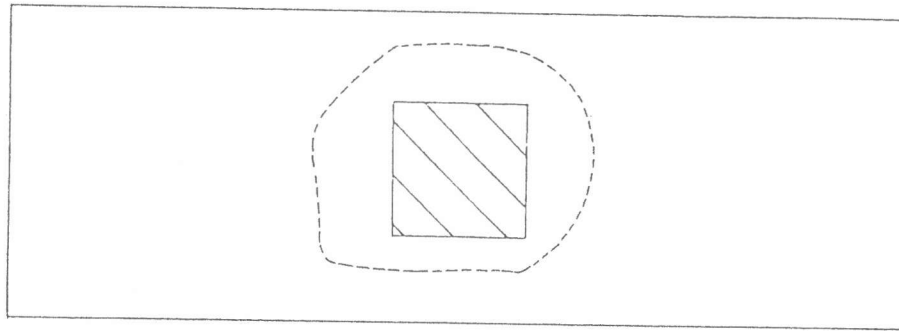


図-13 No. 5 破壊面(700×2000)

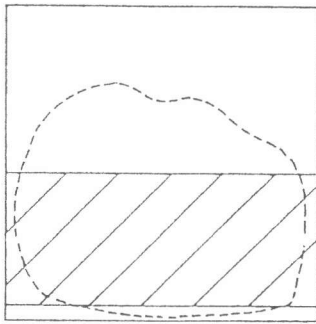


図-14 No. 7破壊面(700×700)

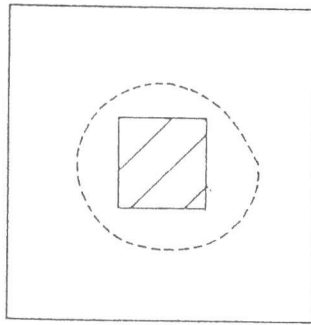


図-15 No. 8破壊面(700×700)

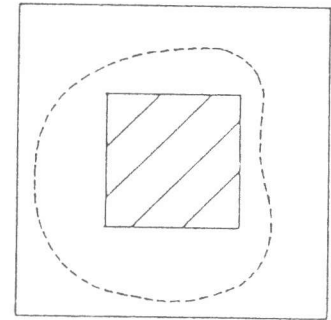


図-16 No. 9破壊面(700×700)

補剛梁と載荷縁が離れている場合には、破壊面とスラブ上面とのなす角度は、かなり幅があるものの $35^{\circ} \sim 20^{\circ}$ の間が多く破壊面の角度は載荷部分に近いほどきつくなる。

補剛梁と載荷縁が接近している場合には、破壊面とスラブ上面とのなす角度がほぼ直角に近い角度で破壊している。

3. 1 既往の各種算定式との比較

スラブ中心部に載荷した5体について既往の各種算定式を用いて検討することを試みた。実験値と計算値との比較を表-4に示す。但し、算定式を用いるにあたり、分布荷重は載荷部分の中心に作用する集中荷重とし、載荷半径は周長が等しい円の半径として計算したものである。

表-4 各種算定耐力比較表

NO	Pt (tf)	角田 ¹⁾		前田・松井 ²⁾		関 ³⁾		Moe ⁴⁾		Hognestad ⁵⁾		Yitzhaki ⁶⁾		Herzog ⁷⁾		Regan ⁸⁾	
		Pcal	T	Pcal	T	Pcal	T	Pcal	T	Pcal	T	Pcal	T	Pcal	T	Pcal	T
1	27.0	14.0	1.93	18.7	1.45	18.5	1.46	9.5	2.84	8.0	3.36	11.3	2.39	12.2	2.21	10.2	2.65
8	38.0	19.0	2.00	27.9	1.36	26.6	1.43	14.4	2.63	12.7	3.00	15.8	2.40	18.9	2.01	13.4	2.84
4	89.3	32.2	2.77	51.8	1.72	48.7	1.83	20.7	4.31	19.1	4.68	27.2	3.28	37.4	2.39	22.3	4.00
2	45.0	24.2	1.86	38.0	1.18	35.3	1.27	17.6	2.55	15.9	2.83	20.4	2.21	26.1	1.72	16.9	2.66
3	82.0	34.4	2.39	55.7	1.47	51.5	1.59	21.2	3.86	19.7	4.16	29.4	2.79	40.1	2.04	23.6	3.47

Pt : 破壊荷重 (tf)

Pcal : 計算値 (tf)

T = Pt / Pcal

既往の各種算定式による値は、いずれも破壊荷重よりかなり低い値を示している。特に載荷形状が長方形の場合にその傾向は顕著であった。このことは、今回比較に用いた各種算定式は全て集中荷重を載荷した実験を基に求めた式であり、これを用いたためと思われる。

3. 2 偏心載荷の影響

偏心載荷した (No. 6、No. 7) の場合にはスラブ中心部に載荷した (No. 2、No. 3) の場合より耐力が増加する傾向が見られた。

3. 3 上側鉄筋の影響

1 体での比較ではあるが、上側鉄筋を配置しない (No. 9) の方が、配置した場合 (No. 2) より耐力が大きくなっている。

4. まとめ

周辺補剛梁を有するスラブに部分等分布荷重を載荷した実験により以下の事がわかった。

- (1) 集中荷重を載荷した実験により求められた各種のせん断耐力算定式をそのまま分布荷重が載荷する場合に適用するとかなり安全側の値を与える事となる。
- (2) 偏心載荷の場合にはスラブ中心部に載荷した場合より耐力が増加する傾向が見られた。
- (3) 鉄筋の配置が単鉄筋の場合のほうが複鉄筋の場合より耐力が増加した。
- (4) ひびわれは、スラブ下面の載荷中央部に最初に発生する。その後、スラブ下面では放射状にひびわれは発達する。一方スラブ上面においては、載荷部分を囲むようなかたちで一重の円形もしくは楕円形に発達する。
- (5) 補剛梁と載荷縁が離れている場合は、破壊面がスラブ上面となす角度は約 $20^{\circ} \sim 35^{\circ}$ であり、載荷部分近傍になるほど角度がきつくなる傾向があった。

参考文献

- 1) 横道英雄・角田与史雄・成井 信・大島 久：鉄筋コンクリートスラブの押抜きせん断強度に関する 2, 3 の実験、セメント技術年報、pp. 447-480、1972.
- 2) 前田幸雄・松井繁之：鉄筋コンクリート床版の押抜きせん断耐荷力の評価式、土木学会論文集、第 348 号、pp. 133-141、1984
- 3) 関 博：集中荷重を受ける鉄筋コンクリート固定スラブの設計法に関する研究、土木学会論文報告集、第 315 号、pp. 137-148、1981
- 4) J. Moe : Shearing strength of reinforced concrete slabs and footings under concentrated load, Development Department Bull. D47, PCA, Apr. 1961
- 5) E. Hognestad : Shearing strength of reinforced concrete column footing, J. of ACI, Vol. 50, No. 3, Nov. 1953, pp. 189~208
- 6) Yitzhaki, D. : Punching strength of reinforced concrete slabs, ACI Journal, Proc. Vol. 63, No. 5, pp. 527~542, May, 1966.
- 7) Herzog, M. : A new evaluation of earlier punching shear test, Concrete, Vol. 4, No. 12, pp. 448~450, Dec., 1970.
- 8) Regan, P : Shear in reinforced concrete-an analytical study, Report to the CIR and IS, pp. 199, April, 1971.