

論文

[2071] 不規則に配置した開口を有するデッキプレート床スラブの補強

小森 清司*1・永藤 政敏*2・野間口 英雄*3・赤丸 一朗*4

1. はじめに

デッキプレート合成床スラブは鉄骨建物に広く使用されているが、用途の多様化に伴い、様々な使用条件に合わせて開口を設置する事が多くなってきている。筆者等は前々報 [1] に於いて、開口を1個有する場合、前報 [2] では複数の開口を規則的に有する場合や、せん断域に開口を有する場合などのデッキプレート合成床スラブに対して載荷実験を行い、簡便な開口補強法の検討を行った。そこで、本報では複数の開口を不規則な位置に設置した場合や、開口が近接してそれぞれを単独で開口補強が出来ない場合の一括補強法を検証する為、鉛直載荷実験を行い開口部周りの補強法について、考察を行った。

2. 試験体

試験体は5体共、スパン長2.7m、幅1.82mで、コンクリート厚8cmの一方方向単純支持床スラブである。しかし、デッキ部分はDRS3-(5)-1だけ開口の大きさを考慮して、丈7.5cmのデッキプレートを使用し、他の4体には丈5.0cmのデッキプレートを使用している。また開口部が2個有る試験体が3体、開口部が5及び10個有る試験体が各1体の合計5体よりなる。このデッキプレートはコンクリートとの噛み合わせ効果によって一体性を高める為下フランジがタブテール形状に成形されている。補強方法は無開口試験体の長期設計荷重を確保する為、その開口部分を等価なRCスラブに置換して必要鉄筋量を求め、異形鉄筋をデッキプレートの谷部に配筋補強した。補強筋の定着

長さは開口の縁部から40d以上(開口が近接している場合は例外)とし、上端筋は計算上必要ないが下端筋と同量の鉄筋を配した。また前報迄の実験結果を踏まえてこれまで慣習的に配されてきた開口隅角部の斜補強筋は用いていない。しかし、スパンと直交方向には開口の形状や位置

表1 コンクリートの機械的性質

試験体名称	材令目	圧縮強度 kgf/cm ²	弾性係数 kgf/cm ²
DRS3-(10)-1	36	280	2.6×10 ⁸
DRS3-(2)-6	36	280	2.6×10 ⁸
DRS3-(2)-7	36	280	2.6×10 ⁸
DRS3-(2)-8	77	293	2.6×10 ⁸
DRS3-(5)-1	86	292	2.9×10 ⁸

表2 金属材料の機械的性質

鋼材の種類	断面積 mm ²	引張強度 kgf/mm ²	降伏強度 kgf/mm ²	弾性係数 ×10 ⁴ kgf/mm ²
デッキプレート h=50(SDP2GA)	29.9	43	30	1.9
デッキプレート h=75(SDP2GA)	29.7	45	36	2.0
異形鉄筋 (SD295)D10	71.3	54	38	1.8
異形鉄筋 (SD345)D13	126.7	55	36	1.9
異形鉄筋 (SD345)D19	286.5	54	38	1.9
ワイヤーメッシュ (6φ)	28.3	65	---	2.0

表3 長期設計荷重比

試験体名称	幅方向開口幅 (cm)	デッキプレート欠損断面積 (cm ²)	スパン方向の補強筋量 (cm ²)	長期設計荷重比	
				補強前	補強後
DRS3-(10)-1	10×5ヶ	7.32	5.73	0.725	1.056
DRS3-(2)-6	20×2ヶ	6.42	5.07	0.780	1.082
DRS3-(2)-7	30×2ヶ	10.25	5.07	0.670	0.972
DRS3-(2)-8	30×2ヶ	10.24	7.16	0.670	0.963
DRS3-(5)-1	60	11.05	5.73	0.670	1.001

注1) 長期設計荷重は無開口試験体(DRS3-(0)-1)の5.952kgを基準。

- *1 長崎大学教授 工学部構造工学科、工博(正会員)
- *2 長崎大学技官 工学部構造工学科(正会員)
- *3 長崎大学大学院 工学研究科構造工学専攻
- *4 日鐵建材工業(株) 建築商品開発部

に応じて配筋を配し開口廻りを補強した。また全試験体共上面には、 $6\phi - 150 \times 150 @$ の溶接金網を全面に配筋している。使用材料の機械的性質は表1及び表2に、補強筋量及び補強前後の長期設計荷重比は表3に、各試験体の平面図及び配筋図を図1に、また各試験体の断面配筋図を図2に示す。

3. 実験方法及び測定方法

実験は試験体の両端を掛かり代5cmで単純支持し、載荷は30tonf門型試験機を用いて、図1中に■印で表示した試験体上面の4点に加圧板(20×20cm)をセットし、加力ビームを介して集中加力した。実験はデッキプレートの長期許容応力度時と、短期許容応力度時に於いて除荷し、3サイクル目で破壊させた。またスパン中央部のたわみは変位計で、コンクリートと、デッキプレート及び鉄筋のひずみはひずみゲージで、デッキプレートとコンクリートの打継面の相対ずれはクリップゲージで測定した。尚、ひび割れは目視によって観察記録した。

4. 実験結果

表4に実験結果、表5に計算結果及び実験結果の比較を、各試験体の荷重～たわみ曲線を図3の(a)(b)(c)に示す。同図、表には比較の為、一部前報、前々報の結果を再掲載している[1][2]。代表的な荷重とひずみの関係及び、ひずみ分布を図4、図5に、荷重～鉄筋ひずみ曲線を図6に、試験体上面の最終ひび割れ状況の例を図7に示す。

5. 実験結果の考察

5. 1 初期剛性

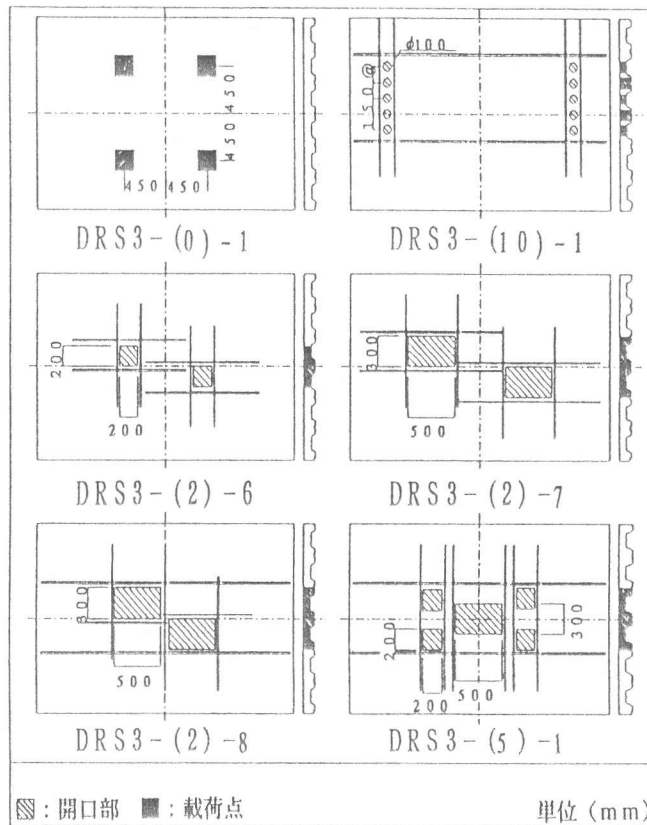


図1 試験体の平面配筋図

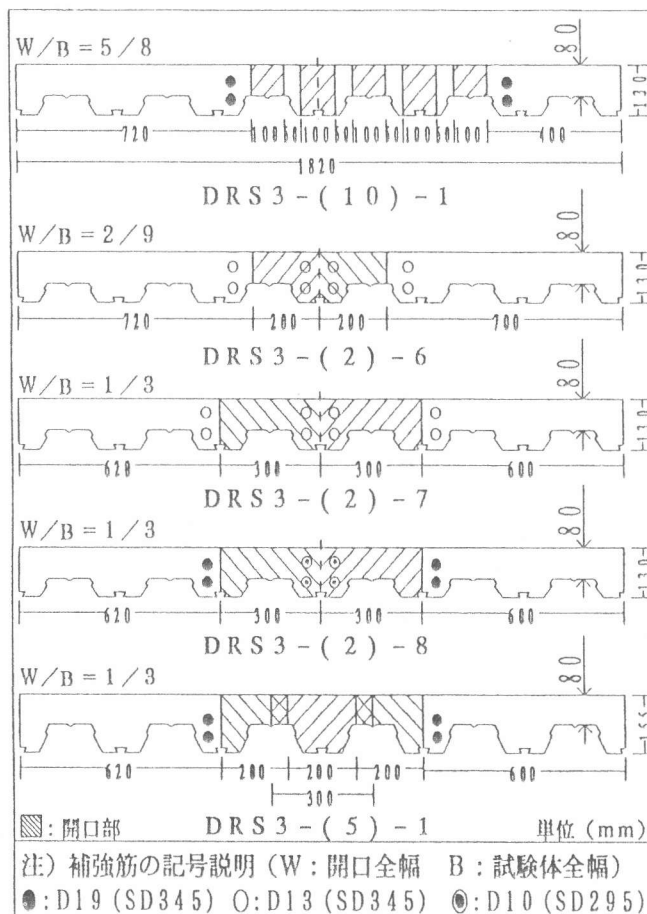


図2 試験体の断面図配筋図

表4 全試験体の実験結果

試験体名称	実験値及び実験結果							
	初期剛性 ●●K (tf/cm)	ひび割れ 発生荷重 (tonf)	打継ぎ面 ずれ荷重 (tonf)	D・P 降伏荷重 (tonf)	異形鉄筋 降伏荷重 (tonf)	最大荷重 ●●P (tonf)	最大荷重 時たわみ (cm)	最終破壊性状
DRS3-(0)-1 ^{*1}	20.58	4.60	11.41	12.41	鉄筋なし	16.81	9.26	曲げ圧壊
DRS3-(2)-2 ^{*2}	14.60	2.79	9.59	12.79	-----	13.91	5.18	曲げ圧壊
DRS3-(6)-1 ^{*2}	17.80	4.00	12.81	14.60	-----	14.81	4.54	せん断
DRS3-(10)-1	21.35	7.41	10.42	-----	16.81	18.19	5.19	曲げ圧壊
DRS3-(2)-6	19.18	5.99	9.00	-----	11.00	15.01	7.87	曲げ圧壊
DRS3-(2)-7	16.81	6.18	8.20	-----	11.00	14.13	8.48	曲げ圧壊
DRS3-(2)-8	15.11	5.19	8.60	14.60	12.21	15.06	6.06	曲げ圧壊
DRS3-(5)-1	22.99	3.00	8.99	-----	15.40	18.49	5.50	曲げ圧壊

1)初期剛性はスパン中央部のたわみから求めた。2)-----部は、本実験では測定できなかった値。
 3)アークレットの降伏荷重は、下フランジの降伏荷重を示す。4)異形鉄筋の降伏荷重は、スパン方向下端筋のひずみ
 みが3000μに達した時の荷重を示す。5)ひび割れ発生荷重は、試験体側面のひび割れを目視によって確
 認した時の荷重を示す。6)^{*1}、^{*2}は文献[1][2]より再掲載。

表5 実験値及び計算結果の比較

試験体名称	初期剛性 計算値 ●●K (tf/cm)	最大荷重計算値 ⁸⁾				実験値/計算値		
		スパン中央部断面 ¹⁾		1枚の開口とみなした場合 ²⁾		●●K ●●K	●●P ●●P _{u1}	●●P ●●P _{u2}
		●●P _{u1} (tonf)	開口幅 (mm)	●●P _{u2} (tonf)	開口の大きさ 幅×長さ (mm)			
DRS3-(0)-1 ^{*1}	19.65	20.85	無開口	20.85	無開口	1.05	0.81	0.81
DRS3-(2)-2 ^{*2}	12.98	13.14	720	13.14	720×500	1.12	1.06	1.06
DRS3-(6)-1 ^{*2}	19.02	20.90	----	20.90	載荷点外に開口	0.94	0.71	0.71
DRS3-(10)-1	23.88	20.42	----	20.42	載荷点外に開口	0.89	0.89	0.89
DRS3-(2)-6	21.64	20.39	----	15.97	400×1000	0.89	0.74	0.94
DRS3-(2)-7	15.38	20.39	----	13.74	600×1550	1.09	0.69	1.03
DRS3-(2)-8	14.69	21.25	----	14.32	600×1100	1.03	0.71	1.05
DRS3-(5)-1	29.12	18.53	300	15.25	600×1200	0.79	1.00	1.21

1)●●P_{u1}はスパン中央部の断面で計算。2)●●P_{u2}は載荷点間(モーメント一定区間)に複数の開口を有する場合は、
 複数の開口を1枚の開口とみなして計算。3)最大荷重はコンクリートの応力～ひずみ曲線の非線形性を考慮した
 (DarwinとPecknoldの提案式を採用)場合の終局曲げ耐力を示す。4)^{*1}、^{*2}は文献[1][2]より再掲載。

DRS3-(2)-6、DRS3-(2)-7、DRS3-(2)-8の3体はスパン中央のモーメント一定区間に開口が有り
 載荷点間の欠損断面が大きい為、初期剛性は無開口試験体の73%~93%まで低下した。DRS3-(10)-
 1は開口がせん断区間に有り、その上スパン全長にわたって鉄筋が配筋されている為補強の効果
 があって無開口試験体、DRS3-(0)-1よりも若干高い値を示した。DRS3-(5)-1は他の4体よりスラ
 ブ厚が大きい為それなりに高い値を示した。開口幅が試験体幅に比べて大きい試験体程小さな値
 を示している。また、実験値と計算値の比は0.79~1.12の範囲にあって、若干のばらつきがある
 が、良い一致を示している。

5.2 ひび割れ発生荷重

開口部が2個有る試験体のひび割れ発生荷重はそれぞれ若干異なるが、一応5.2~6.2(tonf)に
 納まっており、無開口試験体の4.6(tonf)より大きくなっている。これは鉄筋による開口補強が
 期待以上に効いた為であろう。

5.3 最大荷重

最大荷重はDRS3-(5)-1、DRS3-(10)-1が無開口試験体より、10%程度高くなっているが、開口が
 2個有る試験体はいずれも無開口の試験体より16%程度低下している。しかし、開口部の欠損が
 大きい割には耐力の低下がこの程度に納まったのは注目に値する。表5より実験値と計算値の比
 は、モーメント一定区間に複数の開口が有る試験体では、複数の開口を1個の大きな開口と見な
 して計算したほうが、0.94~1.06と良い一致を示している。しかし、せん断力が作用する区間に

開口を有する場合の比は 0.71 ~0.89とばらつきが見られるが、全試験体共、最大荷重は、無開口試験体の長期設計荷重5,952kgfの2.3~3.1倍に達しており、十分な耐力を保持していると考えられる。

5.4 荷重～たわみ関係

図3 (a)(b)(c)に荷重～たわみ曲線を分別して示す。図中には、比較の為、既発表[1]の無開口試験体の曲線もそえてある。

1) 2個の開口位置が異なった場合の影響

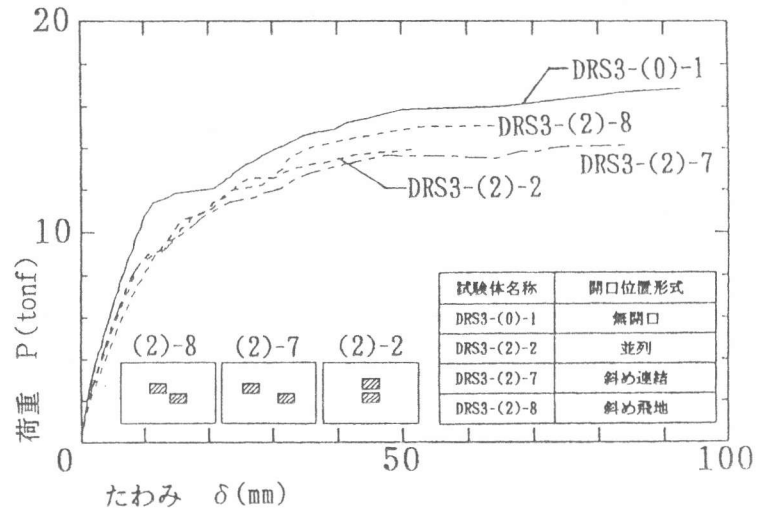
図3 (a)によれば、有開口試験体の3体は開口の大きさは共に等しいが、その開口位置が、並列、斜め連結及び斜め飛地と異なっている。当然とはいえ、3体共無開口試験体に比べると、剛性、耐力、靱性がわずかではあるが劣っていることが分かる。しかし、3者間では補強が十分であった為か大差なく、最終たわみも5 cmを越える靱性を有していることを考えると開口位置の違いによる影響は殆どなかったと推察できる。

2) 小さい開口がせん断区間に連続して設置された場合の影響

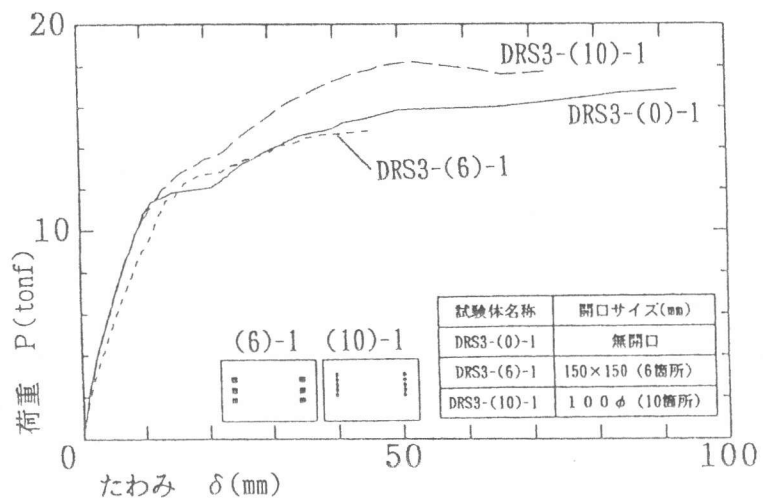
図3 (b)によれば、DRS3-(10)-1は小開口が5個ずつ2個に設置されているが、補強の効果があって、剛性、耐力、靱性共に無開口以上の良好な性状を示している。しかし、DRS3-(6)-1は小開口を十分に補強してはいるが、デッキのリップを小開口によって3連続して切断している為、無開口に比べると剛性、耐力、靱性が若干低下している。

3) スラブ厚を増したことによる影響

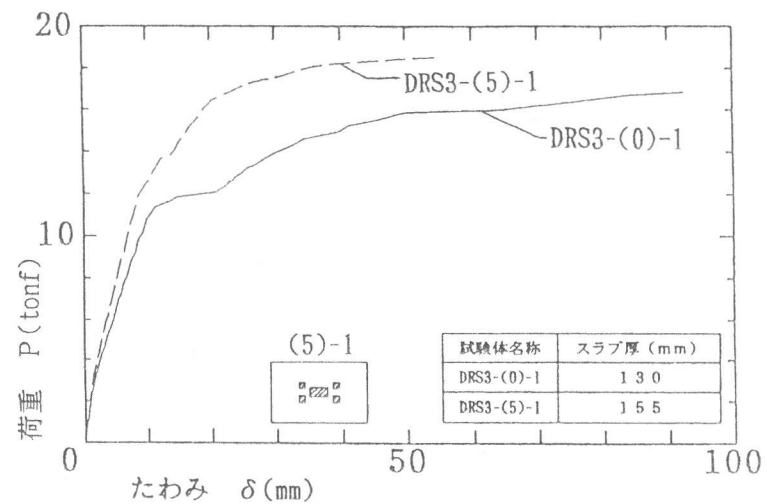
DRS3-(5)-1は大小の複数開口が、



(a) 2箇所の開口位置が異なった場合の影響



(b) 小さい開口がせん断区間に連続して設置された影響



(c) スラブ厚による影響

図3 荷重～たわみ曲線

最大曲げモーメント区間に集中している為、それらをまとめて補強し、その上、スラブ厚を 2.5cm 増した試験体である。スラブ厚の小さい無開口の試験体と単純には比較できないが、図 5 から判断する限りでは、これら大小の開口をまとめて適切に補強しさえすれば、スラブ厚の効果が現れて、無開口の場合に見劣りしない良好な $P \sim \delta$ 特性が得られることがわかる。

5.5 床スラブ上面のコンクリートひずみ

図 4、図 5 は、DRS3-(2)-7 と DRS3-(2)-8 の荷重 9.0 (tonf) と 12 (tonf) 時における開口近傍のスパン方向のスラブ上面のひずみ分布と主応力方向を同時に示している。図 5 から DRS3-(2)-7 ではスパン中央線上で、ひずみ (実線) が平均化しているが、開口に近づくとひずみ (点線) が激減し開口と載荷点の中間位置で増大している。図 6 の DRS3-(2)-8 では丁度逆の現象がみられる。すなわちスパン中央から 30 (cm) 離れて開口をよぎる線までくるとひずみ (点線) が平均化してくるが、スパン中央線上ではひずみ (実線) が載荷点近傍で増大している。しかし、主応力方向は開口隅角点辺において傾きを見せしており、前者と性状が異なっているのが分かる。

5.6 荷重～鉄筋ひずみ関係

図 6 は開口部周辺の荷重に伴う補強筋のひずみの変化を示したもので、A はリブ部に配した下端筋、B は同位置の上端筋、C はスパンと直角方向の配筋筋を示す。図中には DRS3-(2)-7 と DRS3-(2)-8 の結果を示している。下端筋 A は低荷重時から荷

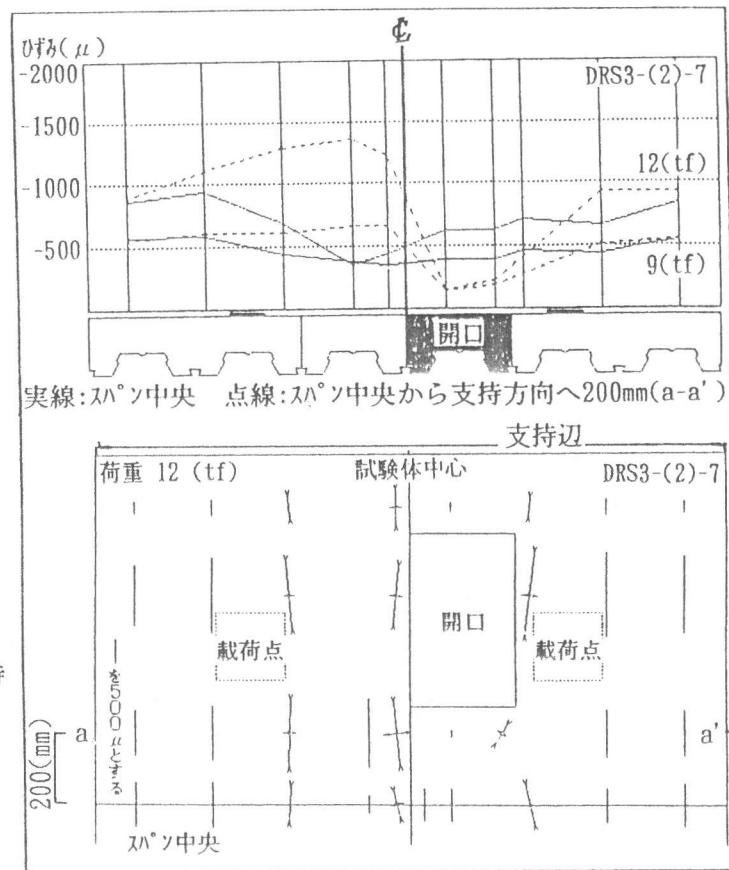


図 4 DRS3-(2)-7 の試験体上面のひずみ分布

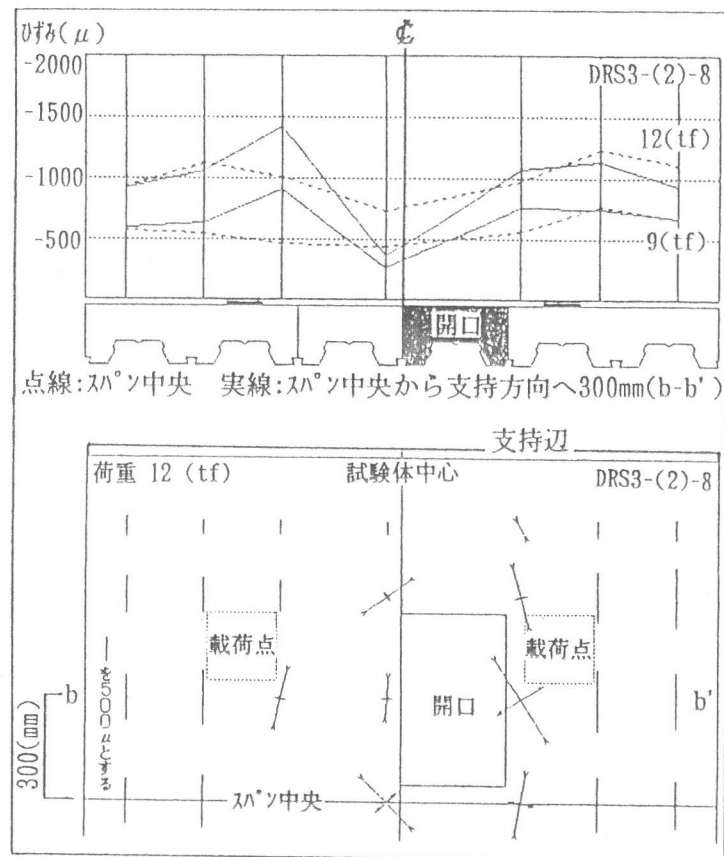


図 5 DRS3-(2)-8 の試験体上面のひずみ分布

重の増加に伴ってひずみが増加しており、応力を充分負担している事が分かる。上端筋Bは低荷重時のひずみの増加が少なく、両者共、ほぼ打継ぎ面のずれ発生と同時にひずみの増加が見られる。配力筋Cのひずみの変化から、試験体中心に対して非対称形でない試験体では線対称の試験体に比べて、応力の分担が大きい事が分かる。

5.7 ひび割れ状況

図7にDRS3-(2)-7とDRS3-(2)-8試験体の終局時のひび割れ状況を示す。曲げひび割れが多数発生し、徐々に伸展し曲げ破壊性状を示している。終局時には開口隅角部と載荷点を結ぶ領域に於いて試験体上面のコンクリートが圧壊し終局に至っている。しかし、DRS3-(2)-8のみはひび割れ状況が他の試験体と若干異なり、2個の開口が近接している試験体中央の開口隅角部間に応力が集中し圧壊を生じた。この事は、開口を近接して設置する場合には応力集中を考慮した開口周りの補強が必要である事を示唆している。

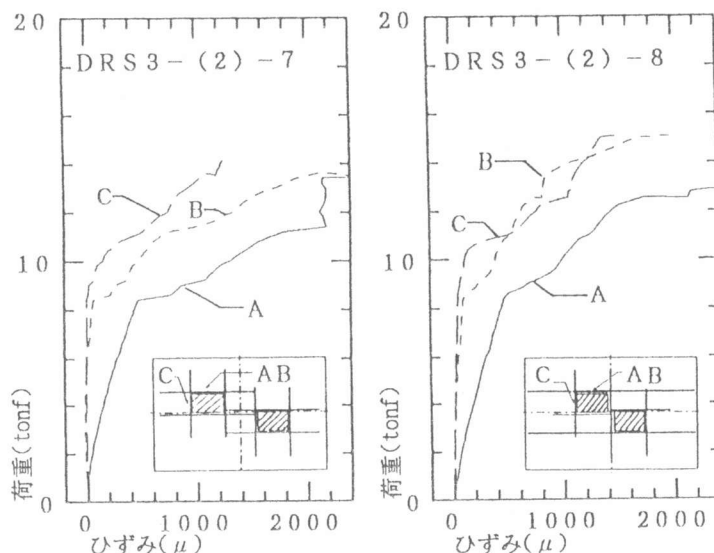


図6 荷重～ひずみ（鉄筋）曲線

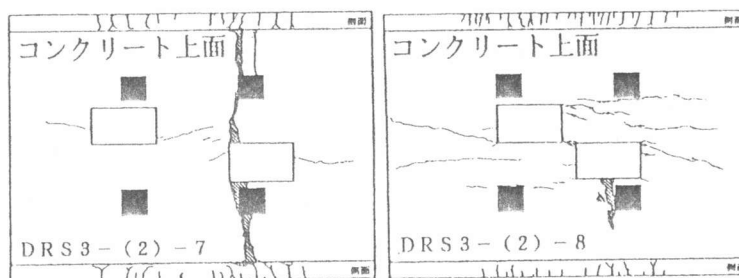


図7 終局時のひび割れ状況

6 結び

- 1) 複数の開口を不規則に設置した場合でも、デッキプレートの谷部に補強筋を配する事によって開口に伴う終局時の耐力減を16%以内に抑える事が可能である。
- 2) 開口が近接し、補強筋の定着長さが十分に取れず、個別の開口補強が出来ない場合には、複数の開口を一個の開口と見なして一括補強すれば、個別補強と同程度の補強効果を得る事が出来る。
- 3) 試験体上面の主応力方向やひび割れ性状からみて、開口隅角部には斜補強筋を用いなくても、縦横筋のみの補強で局部破壊が防止可能であり、耐力も十分保持できる。
- 4) 開口が有るスラブであっても、開口補強が十分で有れば、デッキプレート丈を割り増しする事によって剛性、耐力を割り増しする事が出来る。

【参考文献】 1) 蓼原、小森、永藤、伊藤：デッキプレート合成スラブの開口補強に関する実験的研究、コンクリート工学年次論文報告集 Vol. 14, No. 2, 1992. 6

2) 伊藤、小森、永藤、吉富：複数開口を有するデッキプレート合成床スラブの耐力と破壊性状について、コンクリート工学年次論文報告集 Vol. 15, No. 2, 1993. 6

【謝辞】 本研究に御協力戴いた長崎大学学生神浦英樹、高瀬和宏、松林祐一、柳川正光、渡邊正樹の諸氏に深謝致します。