

論文

[2133] デッキプレート合成床スラブの開孔部補強に関する実験的研究

正会員○蓼原真一（長崎大学構造工学科）

同 小森清司（長崎大学構造工学科）

同 永藤政敏（長崎大学構造工学科）

伊藤善三（日鐵建材工業建築商品開発部）

1. はじめに

近年、デッキプレート合成床板はデッキプレートの品質の向上や形状の工夫等により鉄骨造建築物において広く利用されてきている。また、用途の多様化に伴い、ダクト、配管などのため大きな開口部を設置する必要性が生じてきている。しかし、開口部廻りの補強方法についての評価基準が確立されていない為、設計においては手引的なものを参考に経験にたよっているのが現状である。これはデッキプレートの形状が複雑で種類が多いことが一つの要因と考えられる。そこで本報では、種々の開口部を有するデッキプレート合成床板に対して鉛直載荷実験を行い、開口部の補強筋量と耐力の関係、及び開口部の位置と大きさの違いによる開口部周辺のひび割れ性状を明らかにし、実用的な開口部周辺の補強方法について考察を行った。

2. 試験体

試験体は、図1に示すようにデッキプレートを3枚並列にならべて幅182cmの埋設型枠としその上にコンクリートを打設して合成したスパン長2.7m、幅1.82m、スラブ厚さ13cmで、無開口の試験体が1体、開口部を1箇所有する試験体が5体、開口部を2箇所有する試験体が1体の合計7体よりなる。開口部の切断面の位置はデッキプレートの上フランジもしくは、下フランジの中心にくるように決定した。したがって、開口部の幅は床板の中心から最小寸法が15cm単位で増えることになり、今回は30cm、45cm、60cmの3種類を用意した。また、デッキプレートの形状が凹凸形をしているため開口部位置の違いによって断面形状は異なっている。また、スパン方向の開口長さの影響を見るため、50cmを基本寸法に50cmと70cmの2種類を採用した。無開口試験体の長期設計荷

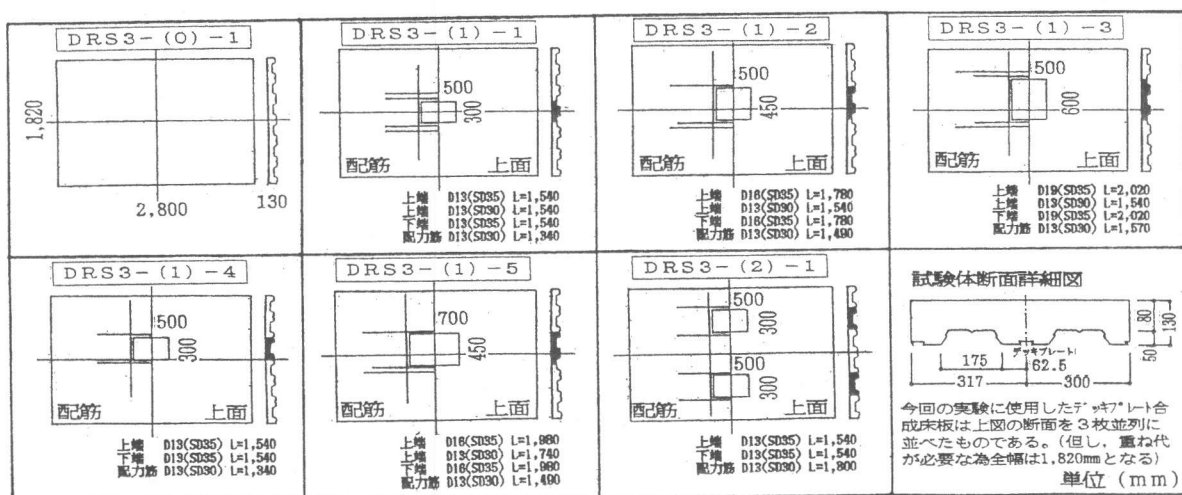


図1 試験体一覧図

表 1 長期設計荷重の比

試験体名称	長期設計荷重比	
	補強前	補強後
DRS3-(0)-1	1.000	1.000
DRS3-(1)-1	0.833	0.989
DRS3-(1)-2	0.750	0.989
DRS3-(1)-3	0.667	1.006
DRS3-(1)-4	0.833	0.989
DRS3-(1)-5	0.750	0.989
DRS3-(2)-1	0.667	0.977
注) 無開口試験体(DRS3-(0)-1)の5,952kgfを基準とする。		

重を確保するために鉄筋による補強を行い、開口部に隣接するデッキプレート谷部に配筋した。必要鉄筋量は、合成スラブと等価なRCスラブに換算し求めた。図1に使用した鉄筋を、表1に補強前後の長期設計荷重の比率を示す。また、開口部のひび割れ補強には縦横筋を配し、上端にも下端筋と同量の鉄筋を配した。いずれの鉄筋も定着長は開口端から40dとした。試験体上端には、乾燥収縮とひび割れ拡大抑制のために、径6φの溶接金網を15cmピッチで配した。使用材料の力学的性質を表2及び表3に示す。

3. 実験方法及び測定方法

図2に実験方法及び測定方法を示す。実験は試験体の両端部下面に幅100mm、厚さ10mmの鋼板を焼き抜き栓溶接で取り付け、かかり代を5cmとって単純支持し、30tonf門形試験機を用いて加圧板(20cm×20cm)を介して載荷した。また、試験体の開口部が最大モーメント域に入り、且つ、荷重状態を等分布載荷に近似できるように、スパン方向の3等分点を2列の合計で4点載荷する方法をとった。試験体のスパン中央のたわみは幅方向の4点で変位計を用いて測定した。コンクリート、デッキプレート及び鉄筋のひずみはストレインゲージを貼付して測定した。デッキプレートとコンクリートの付着面のずれは、クリップゲージで測定した。ひび割れは目視により観察した。

表 2 鋼材の性質

鋼材の種類	引張強度 kgf/mm ²	降伏強度 kgf/mm ²	ヤング係数 ×10 ⁴ kgf/mm ²
デッキプレート(t=1.2mm)	45	34	1.6
異形鉄筋(SD30)D13	49	36	1.9
異形鉄筋(SD35)D13	53	37	1.8
異形鉄筋(SD35)D16	57	37	1.7
異形鉄筋(SD35)D19	61	40	1.8

表 3 コンクリートの性質

試験体名称	圧縮強度 kgf/cm ²	ヤング係数 ×10 ⁵ kgf/cm ²
DRS3-(0)-1	218	2.2
DRS3-(1)-1	235	2.0
DRS3-(1)-2	229	2.1
DRS3-(1)-3	229	2.1
DRS3-(1)-4	235	2.0
DRS3-(1)-5	218	2.2
DRS3-(2)-1	224	2.3

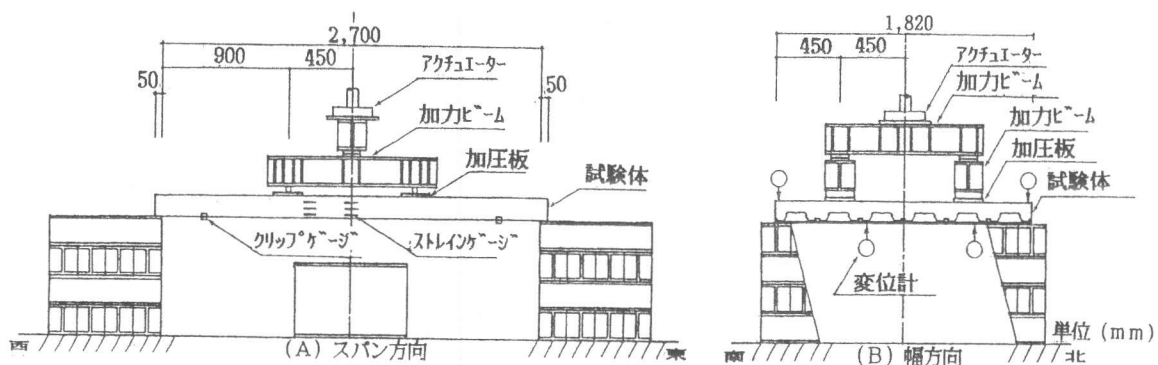


図 2 試験方法及び測定方法

表4 実験結果一覧表

試験体名称	初期剛性 (tonf/cm)	ひびわれ 発生荷重 (Kgf)	打継面のず れ発生荷重 (Kgf)	デッキプレート 降伏荷重 (Kgf)	異形鉄筋 降伏荷重 (Kgf)	最大荷重 (Kgf)	DRS3-(0)-1に 対する最大荷 重の割合	最大荷重 時たわみ (mm)
DRS3-(0)-1	20.58	4,600	11,180	11,820	— — — —	16,820	1.000	92.60
DRS3-(1)-1	15.99	3,990	11,210	12,610	降伏せず	16,060	0.955	86.20
DRS3-(1)-2	16.92	4,800	10,420	11,810	14,000	15,300	0.910	73.60
DRS3-(1)-3	14.31	5,020	9,780	12,250	15,210	16,140	0.960	55.00
DRS3-(1)-4	17.89	4,600	10,940	12,410	降伏せず	15,910	0.946	97.90
DRS3-(1)-5	15.23	4,410	8,610	12,390	16,600	17,380	1.030	62.90
DRS3-(2)-1	13.23	3,000	10,600	12,410	15,000	16,340	0.972	94.50

1)異形鉄筋の降伏荷重は、スパン方向下端筋の降伏荷重を示す。デッキプレートの降伏荷重は、下フランジの降伏荷重を示す。2)全試験体共コンクリートとデッキプレートの付着面のずれを伴うコンクリート上面の圧壊で終局に至る。

4. 実験結果

実験結果を表4、計算結果と実験値の比較を表5に示す。また荷重～たわみ関係を図3に、荷重～デッキプレートひずみの関係を図4に、荷重～鉄筋ひずみ関係を図5に、荷重～付着面のずれ関係を図6に、試験体上面と側面の最終ひび割れ状況を図7にそれぞれ示す。

表5 計算結果一覧表

試験体名称	計算値		実験値/計算値	
	初期剛性 (tonf/cm)	最大耐力 ¹⁾ (Kgf)	初期剛性	最大耐力
DRS3-(0)-1	19.65	20,860	1.047	0.806
DRS3-(1)-1	15.30	18,590	1.045	0.864
DRS3-(1)-2	14.86	17,630	1.139	0.868
DRS3-(1)-3	13.47	16,990	1.062	0.950
DRS3-(1)-4	15.47	18,570	1.156	0.857
DRS3-(1)-5	15.50	17,540	0.983	0.991
DRS3-(2)-1	13.34	15,580	0.992	1.050

1)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。

5. 考察

1) 初期剛性

開口部を有する試験体の初期剛性は、無開口試験体に比べて低く、低下率は36～13%である。しかも、試験体の幅方向の開口幅が大きい程、剛性低下の度合いが顕著になる傾向が見られる。

2) ひび割れ発生荷重

ひび割れ発生荷重は、開口部が2箇所あるDRS3-(2)-1が約3tonfと小さかったが、開口部1箇所のは開口の大小とはあまり関係なく、無開口のDRS3-(0)-1の4.6tonfと同等かそれ以上であった。この荷重を単位荷重に換算すると0.95tonf/m²となり、補強の効果が十分認められた。

3) 最大荷重

有開口試験体は、長期設計荷重で開口補強をしているため、最大荷重は計算上無開口試験体の0.75～0.89倍となるはずであるが、どの試験体も付着面のずれで決まり、表4に示すとおり有開口試験体の最大荷重は、DRS3-(1)-5以外無開口試験体の0.91～0.97倍の範囲に収まっている。

4) たわみの変化(スパン中央)

図3に荷重～たわみ曲線を示す。全試験体共良く似た性状を示している。また終局たわみが最も小さいDRS3-(1)-5でも5.5cmを越えている。これはスパンが2.7mと小さいことを考慮すれば全試験体共、鉄筋コンクリート部材特有の非常に高い靱性を有していることを示している。しかし、

無開口のDRS3-(0)-1のみは、11tonf近傍でデッキプレートとコンクリートの間に相対的ずれが生じ、急激なたわみ増を起こしている。

5) デッキプレート下面のひずみ

図4に、荷重～デッキプレートのひずみ（スパン中央部）曲線を示す。デッキプレートひずみは、1500 μ 近傍に達すると、荷重のわずかな増加に対してひずみが急増していることが読み取れる。デッキプレートの降伏点は明確でないが、この値はほぼ比例限度に相当している。

6) スパン中央部補強筋のひずみ

図5に荷重～鉄筋ひずみ（スパン中央部）曲線を示す。ひずみは1500 μ 近傍からひずみが急増しはじめているが、これはデッキプレートとコンクリートの間のずれの始まりと一致しており、鉄筋の負担が増したものと考えられる。ただし、鉄筋の降伏ひずみは2060～2220 μ である。

7) 付着面のずれ

図6は荷重に伴うデッキプレートとコンクリートの付着面のずれを示す。付着面がずれたときの荷重は開口部が一番大きいDRS3-(1)-5がP=8.6tonfと最も低く、開口部が小さくなる程荷重が増大する傾向がみられる。また、最大荷重時には約5mmにも達している。しかし、その後も荷重の低下が見られない。これはデッキプレートの形状効果といえる。また、付着面のずれ発生と同時に鉄筋のひずみが増大し始めるが、これはその時までデッキプレートが負担していた引張力を一部補強筋が肩代りしたことを示している。

8) スパン方向ひずみの分布

図7は荷重P=12tonf時におけるコ

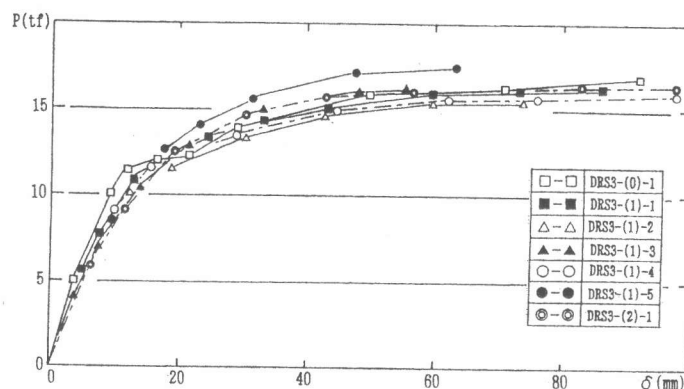


図3 荷重～たわみ曲線

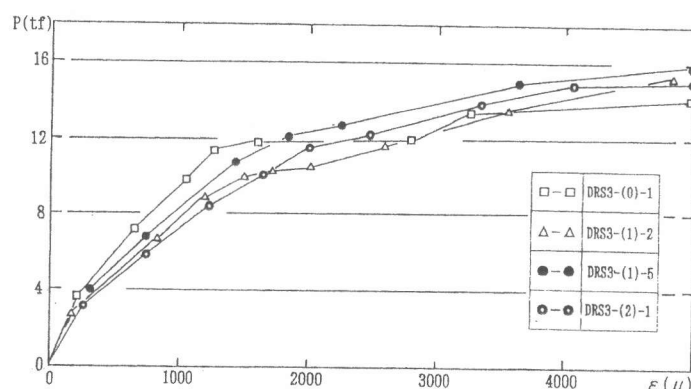


図4 荷重～デッキプレートひずみ曲線

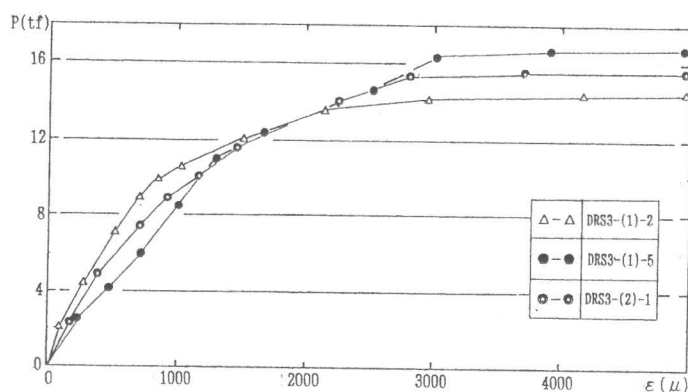


図5 荷重～鉄筋（補強筋）ひずみ曲線

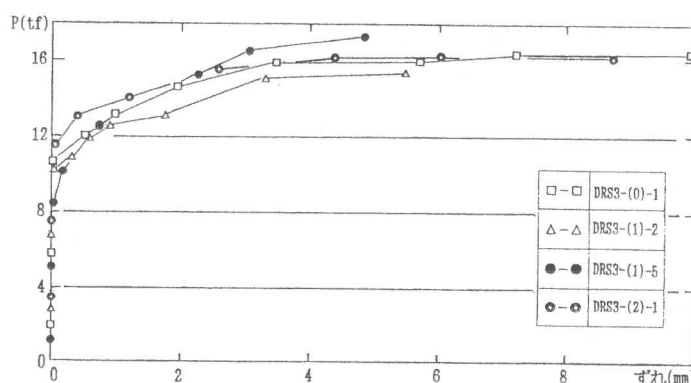


図6 荷重～付着面のずれ曲線

ンクリート及びデッキプレートのスパン方向ひずみについてスパン方向（右図）とスパンと直角方向（左図）の分布を示す。また、開口部の影響を調べるため、図aには無開口、図bには小開口、図cには大開口の試験体を選んで比較した。また、図の上半分には床スラブ上面のコンクリートひずみ、下半分には、それと対応するデッキプレート下端のひずみ分布を示している。この図から、無開口（図a）の場合床スラブの上・下面共、また、スパン方向とそれと直角な方向のひずみ分布がほぼ一定値を示し、曲げモーメント一定領域下での性状を良く表している。しかし、開口部があれば両方向共、開口に近づく程ひずみが大きくなり隅角部で最大となっている。しかし、開口部外周では、開口の辺に直角方向のひずみは激減し、中間部では0となる。ところが開口のスパン方向の辺に沿うひずみは、開口の中間点でも隅角部よりは若干値は減少はするが存在し、無開口の時の値より若干高い値を示している。このことは、開口部によって欠損された応力を開口の無い周辺の板で負担していることを示している。また、隅角部のひずみの集中度は開口部が大きい程高くなっている。

9) ひび割れ性状

図8に最終ひび割れ図を示す。表4及び図3からも分かるように、ひび割れ発生荷重が約5tonfと高く、それ以降も曲げひび割れが徐々に伸展し、曲げ破壊の性状を示している。载荷点と隅角部の位置が近接している場合には、終局近くになって両者を結ぶ破壊線が形成された。しかし、終局時直前までのひび割れ性状が開口部の有無によってあまり大きな相違を示していないことを考えると開口部が最終破壊に対して、致命的な役割を果

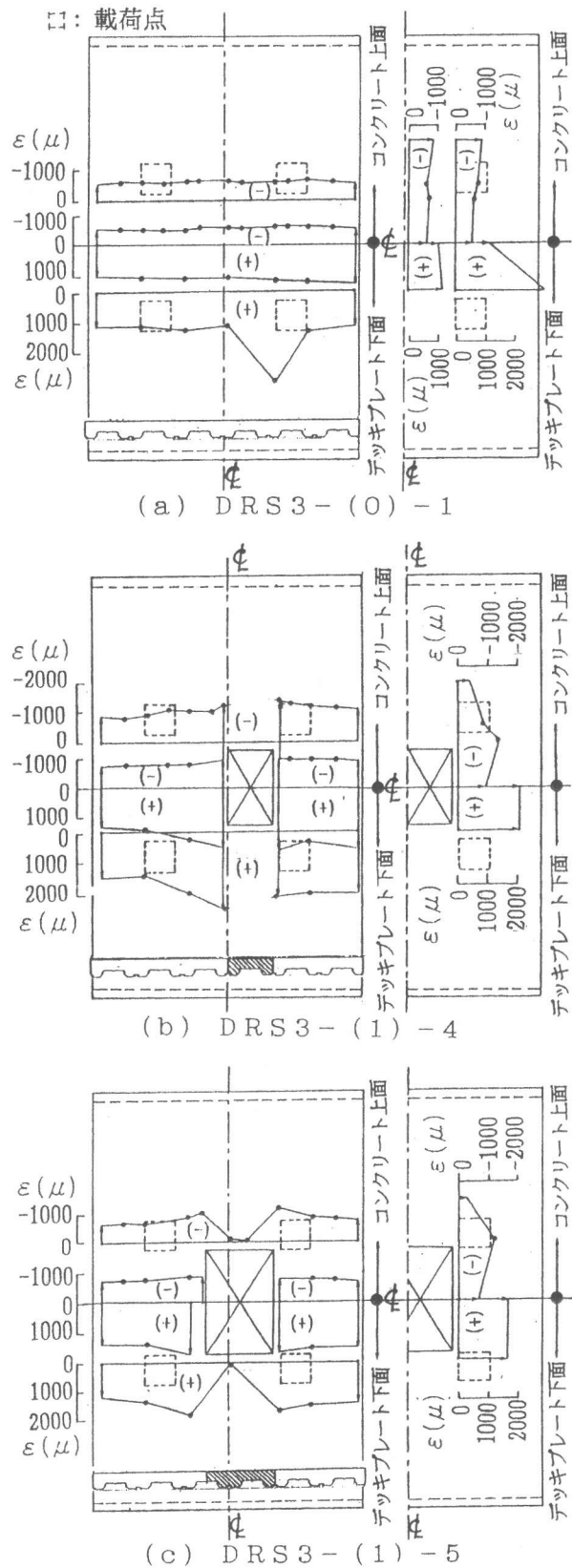


図7 試験体上・下面のひずみ分布

たしているようには思われない。

6. 結び

(1) デッキプレート合成床スラブに開口部を設ける場合、開口に隣接するデッキプレートの谷部に鉄筋を配し、開口欠損による長期設計荷重の低下を補えば、終局においても開口部の大きさや、位置にはあまり影響されずに、無開口スラブと同等の耐力を得ることができる。

(2) 開口周辺の補強として従来用いられてきた隅角部の斜め筋を用いず、周辺に沿って縦横筋のみによる補強方法を採用したが、ひび割れ発生や、耐力、破壊性状がそれほど損なわれたとは考えられず、補強筋は縦横筋だけで十分と考えられる。

(3) 開口の断面欠損による剛性低下は、開口部周辺に鉄筋を補強するだけでは防止できない。

(4) 初ひびわれ発生荷重は本実験に供した程度の開口であれば約5tonf、即ち単位荷重に換算すると、 0.95tonf/m^2 と大きく、しかも無開口床スラブと比べて殆ど低下していない。

(5) 終局時には床スラブ上面のコンクリートが圧壊するが開口部が致命的な役割を果たしてはいない。また、その時のたわみは5.5cmを越えており、靱性の高い性状を有していることがわかった。

【謝辞】 本研究に御協力戴いた長崎大学大学院生 近藤正治、同 吉富清剛、同学生 赤井剛、植坂武史、吉野広、船ヶ山直樹、前野毅、山道泰明の諸氏に深謝致します。

【文献】

W.F.Chen: PLASTICITY IN REINFORCED

CONCRETE, 1982

鋼材倶楽部: デッキプレート床構造設計・施工規準

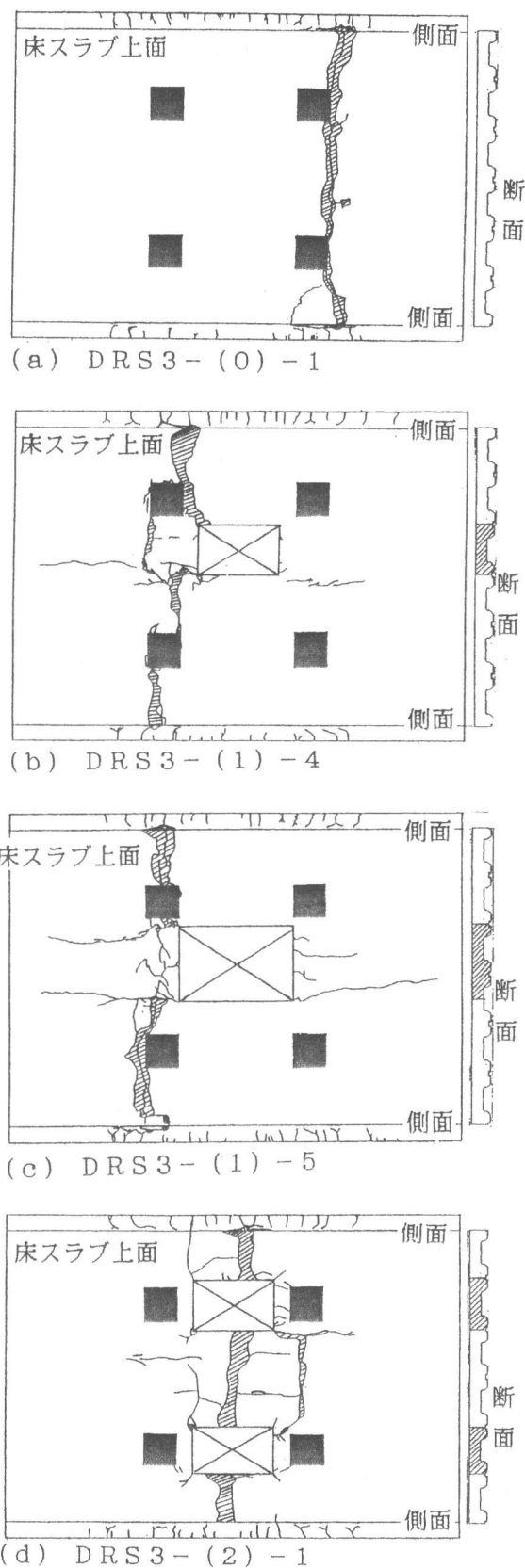


図8 最終ひび割れ図 ■: 載荷点