

論文

[2058] 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

伊藤善三*1・小森清司*2・永藤政敏*3・吉富清剛*4

1. はじめに

デッキプレート合成床スラブは鉄骨造建物に広く利用されているが、床スラブには設備用配管等による開口部を設置する事が多い。しかし、開口部を有する合成床スラブの曲げ性状についての情報は殆どない。筆者らは、前報において開口部が1箇所の場合について、鉄筋による簡便な補強方法を検討した [1]。本報では複数開口が設置された場合について開口の大小と位置を実験因子に鉛直載荷実験を行い、a)開口幅の相違、b)開口間隔の相違、c)開口位置の相違などが、耐力と変形及び破壊性状に及ぼす影響を検討し、簡便な補強方法とその効果について考察した。

2. 試験体

図1に開口位置及び大きさを、図1及び図2に補強筋の仕様を示す。試験体は全てスパン長2.7m、幅1.82m、スラブ厚13cm、コンクリート厚さ8cmの一方向単純支持床スラブで、開口部が2箇所ある試験体が4体、開口部が4及び6箇所の試験体が各々1体の計6体である。前報では開口部の配置が最大曲げモーメント部にくるよう計画したが、本報では、せん断力による影響が検討できる試験体も3体加えている。補強方針は、無開口試験体の長期設計荷重を確保する為、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、欠損部合成スラブと等価なRCスラブに換算し求めた。上端にも同量の鉄筋を配し、補強筋の定着長さは開口の縁部から40d以上とした。スパン方向または、これと直交した方向に開口が複数ある場合は、それぞれスパン全長または、全幅(配力筋)に渡って補強筋を配した。これまで慣習としていた開口隅角部の斜補強筋は用いていない。全試験体共上面には6φ-150@×150@の溶接金網をかぶり30mmで配筋した。使用材料の機械的性質は表1及び表2に示し、表3には補強前後の長期設計荷重比を示す。

表1 コンクリートの機械的性質

試験体名称	材令日	圧縮強度 kgf/cm ²	弾性係数 kgf/cm ²
DRS3-(2)-2	33	268	2.2×10 ⁵
DRS3-(2)-3	26	238	2.0×10 ⁵
DRS3-(2)-4	33	268	2.1×10 ⁵
DRS3-(2)-5	40	281	2.1×10 ⁵
DRS3-(4)-1	40	281	2.1×10 ⁵
DRS3-(6)-1	49	280	2.2×10 ⁵

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 kgf/mm ²
デッキプレート(SDP2GA)	t=1.2	43	31	1.9×10 ⁴
異形鉄筋	D13 (SD30)	51	34	1.9×10 ⁴
	D13 (SD35)	54	38	1.9×10 ⁴
	D16 (SD35)	56	41	1.7×10 ⁴
	D19 (SD35)	57	37	1.9×10 ⁴

表3 長期設計荷重比

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-(2)-1	0.667	0.977
DRS3-(2)-2	0.667	1.006
DRS3-(2)-3	0.667	0.977
DRS3-(2)-4	0.497	0.978
DRS3-(2)-5	0.833	0.989
DRS3-(4)-1	0.667	0.977
DRS3-(6)-1	0.751	0.990
長期設計荷重は無開口試験体の5,952Kgfを基準とする。		

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

3. 荷重及び測定方法

実験は試験体の両端を 5cm のかかり代で単純支持し、荷重は、スパン方向には 3 等分点位置、幅方向は 3 分点位置に加圧板 (20×20cm) を介して試験体上面から 4 点集中加力方式によって 30tonf 門形試験機で荷重した (荷重点は図 1 参照)。実験はデッキプレートの長期許容応力度時、短期許容応力度時で除荷を行った後 3 サイクル目で破壊させた。また、スパン中央のたわみは変位計で、コンクリート、デッキプレート及び鉄筋のひずみはひずみゲージで測定した。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。なお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値と計算値の比較を、図 3 (a), (b), (c) に荷重とたわみの関係を示す。同図、表には比較の為、一部前報の結果を再掲載している [1]。代表的な荷重とひずみの関係を図 4～7 に、試験体側面と上面の最終ひび割れ状況例を図 8 に示す。

5. 実験結果の考察

5. 1 初期剛性

有開口試験体の初期剛性は、無開口試験体に比べて 14～41% の低下率を示しており、特に幅方向の開口幅が大きい DRS3-(2)-4 の初期剛性の低下の度合いが著しい。

5. 2 ひび割れ発生荷重

ひび割れ発生荷重は開口幅が大きい DRS3-(2)-4 が 2.20tonf と低く、無開口試験体に比べて半分以下であったが、その他については単位荷重に換算して 0.57ton/m² となり補強の効果が一応認められた。

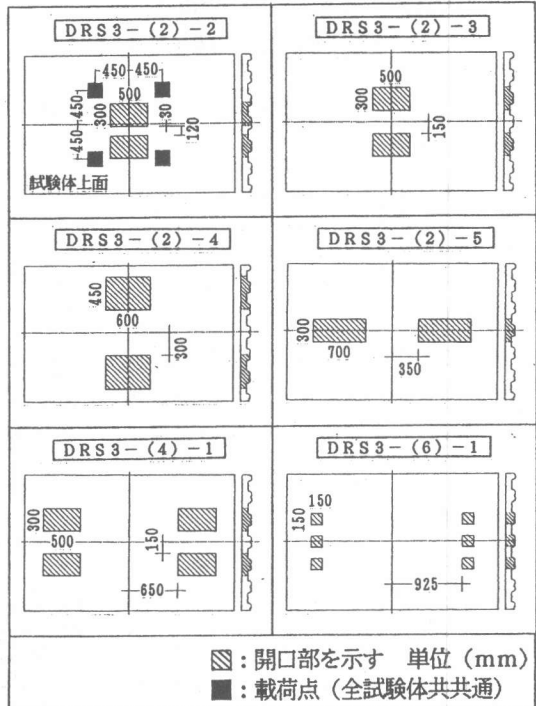


図 1 試験体の開口位置及び開口の大きさ

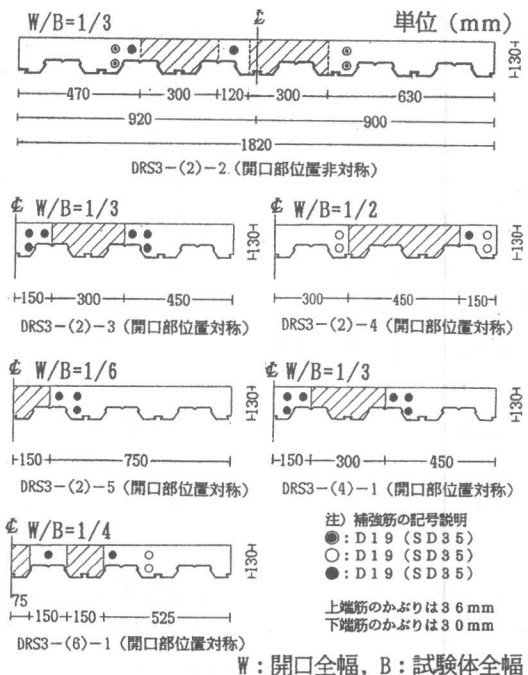


図 2 試験体断面の配筋詳細図

表4 実験結果一覧表

試験体名称	実験値							最終破壊 性状
	初期剛性 $\sigma_s K$ tonf/cm	ひび割れ 発生荷重 $\sigma_s P$ (tonf)	打継面のず れ発生荷重 P_s (tonf)	デッキプレート 降伏荷重 P_d (tonf)	異形鉄筋 降伏荷重 P_r (tonf)	最大荷重 $\sigma_s P$ (tonf)	最大荷重時 のたわみ (cm)	
DRS3-(0)-1*1	20.6	4.60	11.18	11.82	鉄筋なし	16.82	9.26	曲げ圧壊
DRS3-(2)-1*1	13.2	3.00	10.60	12.41	15.00	16.34	9.45	曲げ圧壊
DRS3-(2)-2	14.6	2.79	9.60	12.80	降伏せず	13.91	5.19	曲げ圧壊
DRS3-(2)-3	14.8	4.41	11.99	12.20	12.20	13.22	5.07	曲げ圧壊
DRS3-(2)-4	12.2	2.19	発生せず	11.40	11.60	13.60	3.83	曲げ圧壊
DRS3-(2)-5	16.4	4.03	10.00	14.53	13.51	15.28	7.51	曲げ圧壊
DRS3-(4)-1	16.6	4.01	10.20	13.41	降伏せず	15.21	6.67	曲げ圧壊
DRS3-(6)-1	17.8	4.00	12.90	14.61	降伏せず	14.81	4.54	せん断

1) 打継面のずれ発生荷重は、試験体端部から350mmの位置に設置したクリップゲージの測定値から判定した。
 2) デッキプレートの降伏荷重は、下フランジのひずみが3000 μ に達した時の荷重を示す。
 3) 異形鉄筋の降伏荷重は、スパン方向下端筋のひずみが2000 μ に達した時の荷重を示す。
 4) ひび割れ発生荷重は、試験体側面のひび割れを自視により確認した時の荷重を示す。
 5) *1は文献1)より再掲載した。

5.3 最大荷重

有開口試験体は長期設計荷重で補強量を算定している為実験値は表4に示す通り、無開口試験体の0.79~0.91倍であったが、断面欠損を考慮して求めた計算値との比はバラツキが少なかった。但し、DRS3-(6)-1は、破壊性状が違った為計算値と合わなかった。

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。全試験体ともよく似た性状を示しているが、無開口試験体DRS3-(0)-1のみが11.2tonf時に、デッキプレートとコンクリート打継面の相対ずれにより急激なたわみ増を起こした。しかし、有開口試験体は、デッキプレート合成スラブ特有の打継面の相対ずれに伴う急激なたわみの増加現象は示さず、滑らかな荷重、たわみ増加を示した。これは、デッキプレート谷部に配した開口補強筋の効果と考えられる。DRS3-(2)-4はスパン中央のモーメント最大領域に於いてリブを一山半(45cm)も切断し大きな開口を2箇所も設置した為、予想どおり耐力、靱性共に小さかった。

(1) 開口幅の大きさの影響

図3-(a)は開口の幅方向の開口間隔率(開口中心間距離/開口幅、以下Dで示す)がほぼ等しい(D \approx 2) DRS3-(2)-3とDRS3-(2)-4の2体と無開口のDRS3-(0)-1とを比較したものである。初期剛性は無開口試験体に及ばないが前者の方が後者より高く、開口幅の影響が出ている。有開口試験体2体の最大荷重は、開口幅が異なるにも拘らず両者はほぼ同じ値を示す。しかし、無開口試験体に比較すれば約20%の耐力減となっている。最大たわみは4cm前後と両者とも無開口試験体の

表5 計算結果及び実験値と計算値の比

試験体名称	計算値			実験値/計算値		
	初期剛性 $\sigma_s K$ tonf/cm	最大荷重 計算値-1 P_u (tonf)	降伏荷重 計算値-2 P_y (tonf)	$\frac{\sigma_s K}{\sigma_s K}$	$\frac{\sigma_s P+W}{P_u}$	$\frac{\sigma_s P+W}{P_y}$
DRS3-(0)-1*1	19.7	20.9	16.4	1.05	0.85	1.08
DRS3-(2)-1*1	13.3	15.6	13.1	0.99	1.09	1.30
DRS3-(2)-2	13.0	15.5	14.2	1.12	0.95	1.03
DRS3-(2)-3	12.1	15.2	13.9	1.23	0.92	1.00
DRS3-(2)-4	9.7	14.1	12.4	1.25	1.02	1.16
DRS3-(2)-5	15.3	17.8	15.9	1.07	0.90	1.00
DRS3-(4)-1	17.7	16.0	14.2	0.94	1.00	1.12
DRS3-(6)-1	19.0	21.1	18.7	0.93	0.74	0.83

1) 計算値は断面欠損を考慮して求めた。
 2) Wは試験体自重を示す(等分布荷重を三等分点二点荷重に換算)。
 3) *1は文献1)より再掲載した。

ものの半分にしかなかった。

(2) 開口の幅方向ピッチの影響

図3-(b)は開口幅が60cm(2x30cm)と共に等しいが開口幅方向の開口間隔率Dが1.4、2、3と異なる試験体 DRS3-(2)-2、DRS3-(2)-3、及びDRS-(2)-1を比較したものである。初期剛性は無開口試験体に比べると若干低い、3体共ほぼ同じ値を示している。耐力は、開口間隔率D=3と大きい場合は、無開口試験体と同じ耐力・靱性を保持し得る。しかし、D=2、1.4と開口部が接近してくると約20%の耐力低下を示している。また最大たわみは無開口試験体の50%に減少しているが、降伏棚を一部形成している。

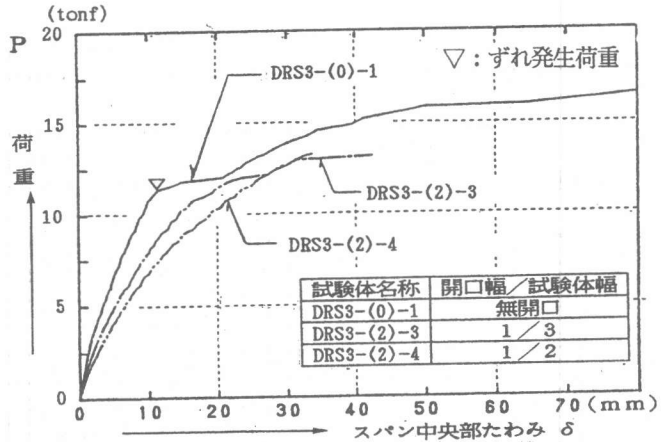
(3) 開口の設置位置と作用応力の相違による影響

図3-(c)は開口の設置位置が純曲げ域にあるか、曲げせん断域にあるかによってP~δ曲線がどの様に相違するかを示している。開口がスパン中央にあって大きな曲げ応力を受けるDRS3-(2)-3が、DRS3-(2)-5及びDRS3-(4)-1より靱性の点で、またDRS3-(6)-1よりは耐力の点で若干劣る様に見える。DRS3-(6)-1は支持辺近くでリブを3箇所切断している為荷重の伝達が心配されたが、他の5体と比較すると打継面のずれ発生荷重は大きかった(図中▽印)。しかし、本試験体はせん断破壊だった為、最大荷重時たわみは4.54cmと小さめで靱性に乏しい性状を示した。

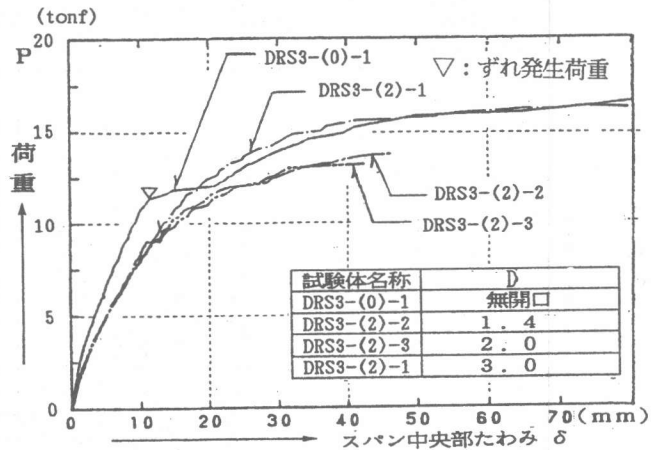
5.5 荷重とひずみの関係

(1) 試験体側面のひずみ分布

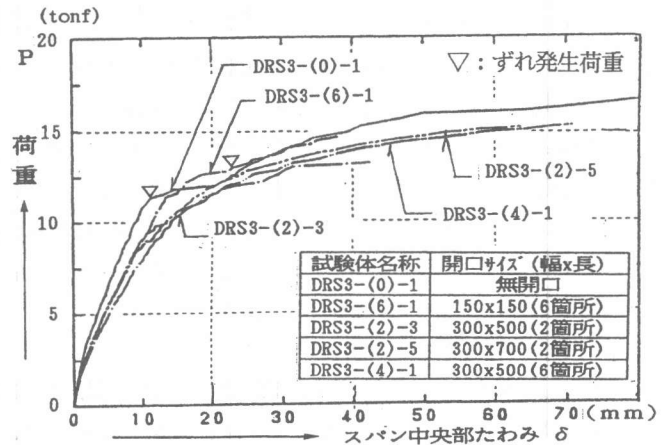
図4はDRS3-(4)-1の試験体側面の



(a) 開口幅の大きさの影響



(b) 開口の幅方向ピッチの影響



(c) 開口の設置位置と作用応力の相違による影響

図3 荷重～たわみ関係

ひずみ分布を示す。どの試験体もほぼ同様な挙動を示した。同図には、弾性時の中立軸計算値 ($X_n=5.6\text{cm}$) も示している。この図より、10tonf前後までは、即ちデッキプレートとコンクリートの相対ずれが発生するまでは、デッキプレートとコンクリートが1体となる合成構造として平面保持の仮定がほぼ成立している事が分かる。

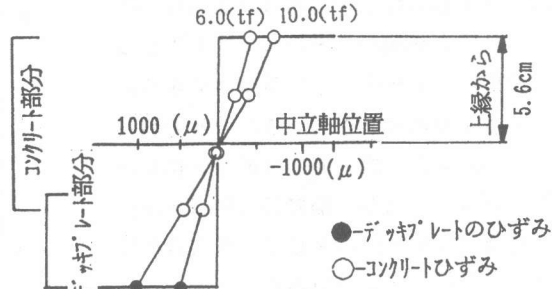


図4 試験体側面のひずみ分布

(2) 断面内のひずみの伸展状況

図5に試験体DRS3-(4)-1の中央断面の各構成材料のひずみの伸展状況を示す。デッキプレートの下フランジのひずみは完全に降伏ひずみに達している事が分かる。引張補強鉄筋も有効に作用し、かつ荷重の増加に伴い順調にひずみが伸展し、ほぼ降伏ひずみに達している。また、デッキプレート下フランジが材料試験より求めた降伏ひずみ3000 μ に達した時、コンクリート上面のひずみはほぼ2000 μ に達している事が分かる。このひずみレベルをもとに断面内の力の釣合より算出した値が表5の降伏荷重計算値-2(P_v)である。

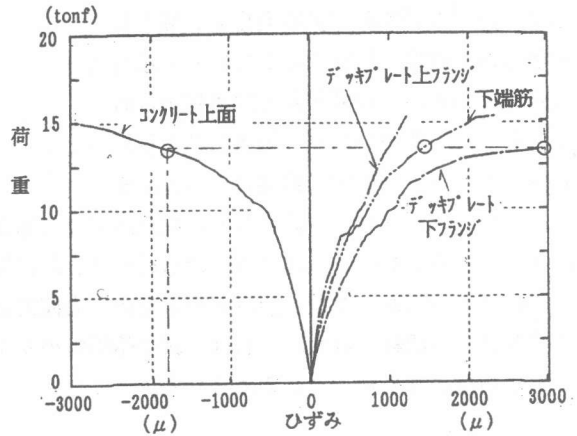
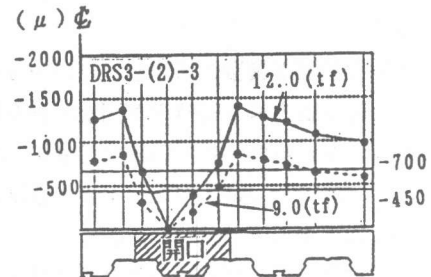


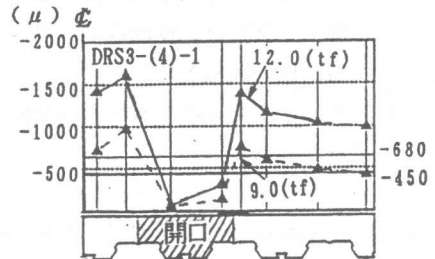
図5 荷重～ひずみ関係

(3) 床スラブ上面のひずみ集中度

図6は試験体DRS3-(2)-3とDRS3-(4)-1の荷重9.0tonfと12.0tonf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を示している。図中の-700, -680, -450 μ は、コンクリートの引張側断面を無視した断面係数により求めた理論値である。荷重9.0tonf時、開口近傍のひずみはDRS3-(2)-3が理論値と比較して最大2.0倍、DRS3-(4)-1が2.3倍の値を示し、同様に試験体の開口から最も離れた位置のひずみに対してDRS3-(2)-3が1.5倍、DRS3-(4)-1が2.4倍の値を示している。この性状は荷重12.0tonf時においても同様である。



スパン中央から支点方向へ300mmの位置



スパン中央から支点方向へ600mmの位置

図6 試験体上面のひずみ分布

(4) 補強鉄筋のひずみ伸展

図7は開口部周辺の補強鉄筋のひずみの伸展を示したもので、Aはリブに配した下端筋、Cは同上端筋、Bは配力筋のひずみを示す。図中には試験体DRS3-(2)-3とDRS3-(4)-1のみを示しているが、全試験体とも同

様な傾向を示した。下端筋は荷重の増加に伴ってひずみが順調に増加している事から応力分担に充分貢献している事が分かる。しかし、上端筋は、予想通りひずみの伸展は少ない。また、配力筋には応力分担を期待していなかったが、幅方向に開口が連続する場合はひずみが増大しており大きな応力分担をしている事が分かる。

5. 6 ひび割れ状況

図8に代表的な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の性状を示している。載荷点と開口隅角部及び隅角部と隅角部の位置が接近している場合には、両者をつなぐ領域のコンクリートが圧壊し終局に至った。開口周りの上部ひび割れ対策としては縦横筋のみで補強が可能と思われる。しかし、試験体DRS3-(6)-1は、開口幅の合計が45cmと少なかったが、開口部から支点反力間でせん断破壊の様相が観察された。これは、試験体幅中のリブ部分が半分切断されている為と考えられる。

6. 結び

本実験で用いたデッキプレート合成スラブに開口がある場合、本実験の範囲内で以下の事が分かった。

- 開口部が複数ある場合、このデッキプレートの谷部に補強筋を配する事で、開口の設置に伴う耐力減を補う事が可能である事が分かった。
- 有開口試験体は開口の大きさに比例して剛性は低下し、有開口の開口間隔率（開口中心間距離／開口幅）が2以下の場合、無開口試験体に比べ最大荷重は20%低下し、靱性も低下する事が分かった。
- 本合成スラブは開口部分が曲げせん断応力域にあっても、純曲げ応力域に存在する場合と同様な曲げ性状を示した。ただし、1つの開口幅が小さく(15cm)でも、デッキプレート谷部（リブ）が3連続以上に渡って完全に切断され、かつせん断域に存在する場合は、せん断破壊の様相を示した。
- スパンと直交方向にもひずみが発生しており、この方向の上端に配した配力筋は必要な事が分かった。

[文献] 1) 蓼原真一、小森清司、永藤政敏、伊藤善三：デッキプレート合成床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

[謝辞] 本研究にご協力戴いた長崎大学学生草野正哉氏、佐藤長海氏、泉谷達彦氏、菖蒲健二氏、中川清氏、野間口英雄氏に深謝致します。

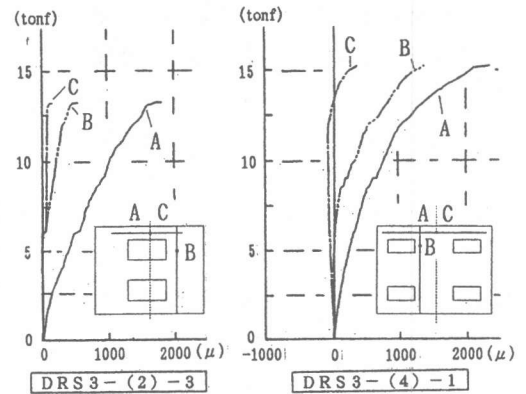


図7 補強筋の荷重～ひずみ関係

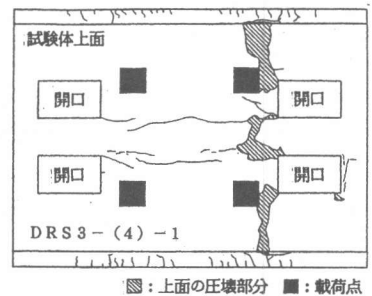


図8 最終ひび割れ図