

論文

[2037] 多数回の繰返し荷重を受けるデッキプレート合成床スラブの疲労特性

正会員○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)

堤 信賢 (長崎大学大学院)

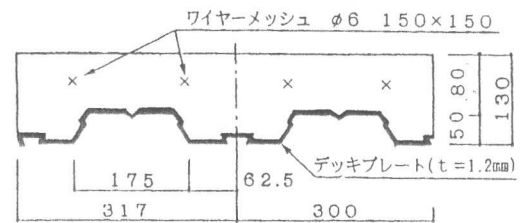
伊藤善三 (日鉄建材工業)

1. はじめに

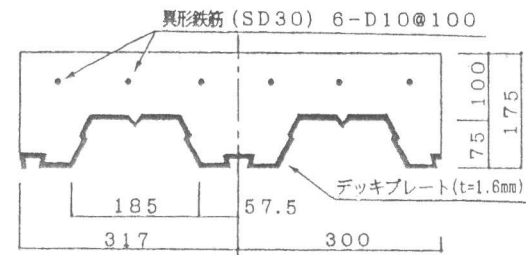
デッキプレートを用いた合成スラブの多数回繰返し荷重下における挙動を調べる為、これまでに単スパン形式や2連続スパン形式のデッキプレート合成床スラブを対象に荷重1 tonで200万回の多数回繰返し載荷実験を行ないその成果を報告^{1), 2)}してきたが、本報では、倉庫や車庫に用いられるかなり大きな繰返し荷重を受ける場合の床スラブを想定し、デッキプレート鋼板の厚さや、コンクリートの厚さ及び、中間支点上の配筋量などを増加した2連続スパン形式のデッキプレート合成床スラブに対して200万回の繰返し載荷実験及び短期載荷実験を行い、それらの疲労特性を考察した。

2. 試験体

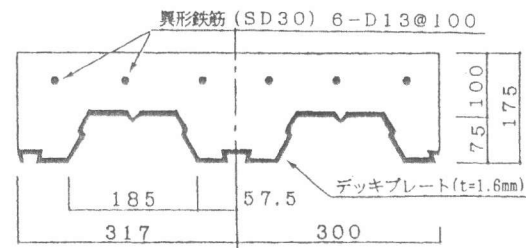
試験体は、2連続スパン形式の一方床スラブ5体からなり、そのうちのDRF型3体は繰返し載荷用、残りのDRS型2体は短期載荷用である。また、DRS(C)-1, DRF(C)-4は汎用性の高い基本型で、デッキプレート丈50mm, 鋼板厚1.2mm, スラブ厚13cm, 1スパン2.7m, 中間支点上に6φのワイヤーマッシュを配筋したもの、DRS(C)-2, DRF(C)-5はデッキプレート丈75mm, 鋼板厚1.6mm, スラブ厚17.5cm, 1スパン2.5m, 中間支点上に異形鉄筋D10を配筋したもの、またDRF(C)-6はDRF(C)-5と同形で、中間支点上の異形鉄筋だけD13に変えたものである。これらの試験体の断面詳細を図1に、断面諸定数を表1に、使用材料の性質を表2, 表3に示す。また、デッキプレートはコンクリートとの合成効果を高める為に形状を複雑にして、コンクリートを挟み込む様に工夫している。その為、シアコッターは付けていない。尚、試験体の運搬中に、DRS(C)-1には1本、DRF(C)-4には2本、DRF(C)-6には3本の初期貫通ひびわれが中間支点上近傍に発生していた。



(a) DRS(C)-1, DRF(C)-4 (スパン2700)



(b) DRS(C)-2, DRF(C)-5 (スパン2500)



(c) DRF(C)-6 (スパン2500)
単位 (mm)

注1) ワイヤーマッシュ, 異形鉄筋のかぶり厚は30mm。
注2) デッキプレートはコンクリートとの付着を高める為に形状を複雑にしてある。

図1 試験体断面詳細図

3. 実験方法

図2に実験方法を示す。試験体は5cmのかかり代でもって両端を支持し、デッキプレートの中央部分を焼抜き栓溶接した幅10cm、厚さ1cmの鋼板を中間支点上に固定した。載荷は30tonfの油圧式門型疲労試験機を用い、加圧板(20cm×20cm)を介して、両翼のAスラブとBスラブのスパン中央点を上面から2等分加力した。繰返し載荷方法は5~8Hzのsine波形で200万回の正側片振りとしたが、DRF(C)-5に対しては140万回で終了した。繰返し載荷の上限荷重はDRF(C)-4, DRF(C)-5に対してはそれぞれDRS(C)-1, DRS(C)-2の短期載荷実験より得られた荷重~たわみ関係がほぼ線形を保つ範囲での最大荷重を採用し、DRF(C)-6に対してはDRF(C)-5に対する上限荷重の2/3を採用した。また下限荷重はそれぞれ上限荷重の1/10, 1/30, 1/20とした。尚、表4に各試験体に対する上限荷重を示す。またこれら3体に対して繰返し載荷終了後に

静的載荷実験を行い、最大耐力を確認した。また、たわみは変位計で、コンクリートとデッキプレートとの打継面のずれはクリップゲージで、鋼材及びコンクリ

ートのひずみはストレインゲージで計測し、ひびわれの発見は目視によった。繰返し載荷時の測定は20万回毎(DRF(C)-5は10万回毎)に静的載荷を行なって計測した。

表1 断面諸定数

試験体名称	デッキプレート単体		合成床スラブ	
	断面積 (cm ²)	断面2次モーメント (cm ⁴)	中立軸の位置 (cm)	断面2次モーメント (cm ⁴)
DRS(C)-1	10.45	44.57	6.98	9586
DRF(C)-4	10.46	44.58	6.96	9287
DRS(C)-2	15.24	142.41	9.53	23553
DRF(C)-5	15.06	140.32	9.53	23614
DRF(C)-6	15.04	140.22	9.71	23221

注) 合成スラブの断面2次モーメントは実寸法で計算し、中立軸は下縁からの距離で示してある。

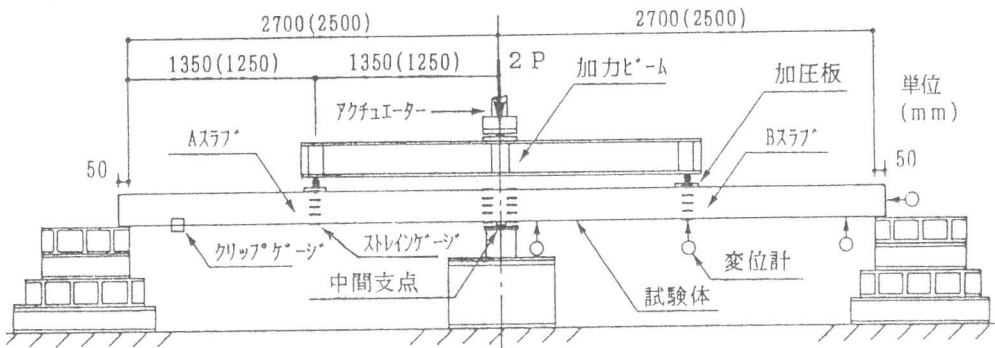
表2 鋼材の性質

鋼材の性質	降伏強度 kgf/cm ²	引張強度 kgf/cm ²	弾性係数 ×10 ⁵ kgf/cm ²
デッキプレート t=1.2	3169	4449	2.05
デッキプレート t=1.6	3482	4526	1.92
ワイヤーメッシュ 6φ	6750	6838	2.03
異形鉄筋 D10	4310	5047	2.26
異形鉄筋 D13	4384	5321	2.28

(材料)デッキプレート: SDP2GA, 異形鉄筋: SD30

表3 コンクリートの性質

試験体名称	材令 (日)	圧縮強度 kgf/cm ²	弾性係数 ×10 ⁵ kgf/cm ²
DRS(C)-1	35	260	2.64
DRF(C)-4	28	236	2.82
DRS(C)-2	38	238	2.61
DRF(C)-5	43	263	2.54
DRF(C)-6	57	242	2.59



注1) デッキプレートは幅100mm、厚さ10mmの鋼板に焼抜き栓溶接の後中間支点上に固定している。
注2) カッコ内はDRS(C)-2, DRF(C)-5, DRF(C)-6の寸法を示す。

図2 実験装置と実験方法

表4 実験結果と計算値の一覧

試験体	繰返し載荷実験				短期載荷実験			計算値		実験値/計算値	
	初期剛性 tonf/cm	繰返し荷重の 上限値 tonf	繰返し回数 回	繰返し 載荷後 のたわみ cm	スパン 中央 ひびわれ 荷重 tonf	最大 荷重 tonf	破壊 性状	初期剛性 tonf/cm	最大 荷重 ton	初期 剛性	最大 荷重
DRS(C)-1	Aスラブ	7.30	----	----	2.84	5.46	◇☆	14.11	5.52	0.52	0.99
	Bスラブ	8.25	----	----	2.03						
DRF(C)-4	Aスラブ	6.37	2.07	200	2.8	5.25	◇☆	14.60	4.66	0.44	1.13
	Bスラブ	8.76			2.2						
DRS(C)-2	Aスラブ	24.28	----	----	4.47	11.30	◇☆	43.16	9.74	0.56	1.16
	Bスラブ	28.60	----	----	4.47						
DRF(C)-5	Aスラブ	19.14	6.09	140	11.2	11.19	◇☆	42.12	10.88	0.45	1.03
	Bスラブ	18.05			7.5						
DRF(C)-6	Aスラブ	23.21	4.14	200	---	12.98	◇☆	42.23	10.40	0.55	1.25
	Bスラブ	26.63			3.5						

注) ☆は上面圧壊, ◇は付着面のずれ

4. 実験結果

実験結果を表4及び図3～図10に示す。但し、図3～図10の結果には、各試験体共、A、Bスラブのうち、終局時に上面中央のコンクリートが圧壊した方の実験結果を採用し、比較検討を行っている。また、グラフの横軸は繰返し載荷回数を表すが単位を(10⁴)回で示している。但しカッコ付の数字(1)のみは繰返し回数1回目を示す。

5. 繰返し実験結果の考察

1) 剛性の変化

図3に繰返し載荷回数の増加に伴う床スラブの剛性の変化を示す。DRF(C)-4は初期貫通ひびわれがある為、もともとから初期剛性が低くなっているが、40万回を過ぎれば中間支点上のワイヤメッシュが破断しているにも拘らず、落着を示し、剛性の低下が見られない。最も大きな繰返し荷重を受けるDRF(C)-5の剛性低下は3者中最も顕著で、しかも繰返し載荷開始直後の2000回目で、すでに、たわみやスパン中央下面のデッキプレート及びコンクリートのひずみ等が共に急増し、剛性が63%まで低下している。しかし、30万回を過ぎると中間支点上端筋が破断しているにも拘らず

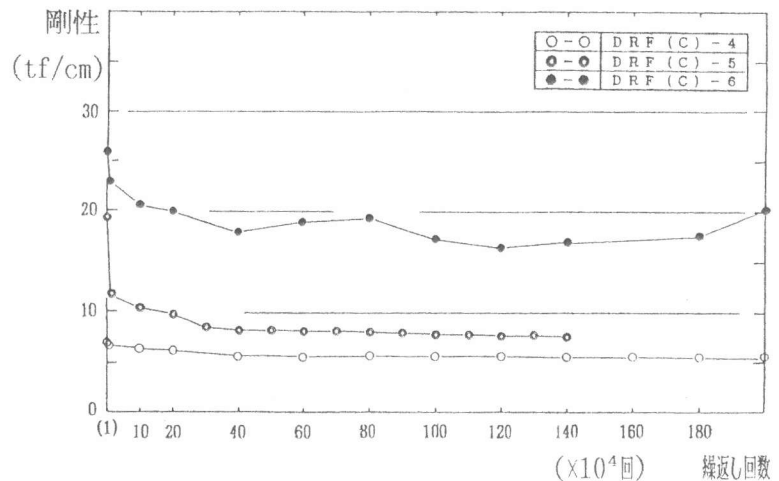


図3 剛性の変化

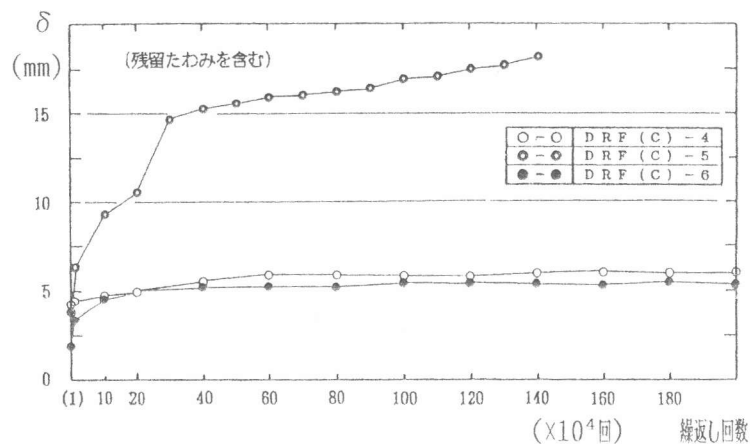


図4 たわみの変化(スパン中央)

剛性の低下は少ない。また、中間支点上の配筋を十分にとったDRF(C)-6の剛性低下は40万回近傍で当初の約68%まで低下したが、その後の剛性低下は少ない。このように、繰返し荷重が耐力の1/3程度であれば剛性低下はほぼ40万回までにおおむね収束し、200万回と回数を増しても、ほとんど進展していないことがわかる。

2) たわみの変化

図4に繰返し荷回数に伴うスパン中央点のたわみの変化を示す。DRF(C)-4は60万回目で約6mmまで徐々にたわみが増加し、DRF(C)-6も20万回目までに約5mmまで増加しているが、それ以降、両者共殆ど変化が見られない。しかしDRF(C)-5は上限荷重が6.09tonfと大きく、30万回目に中間支点上端筋が疲労破断した為約15mmまで急増し、その後も徐々に増加している。DRF(C)-4は40万回目で中間支点上端筋が疲労破断しているがたわみの増加は少ない。

3) デッキプレートのひずみ

図5に繰返し荷回数に伴うスパン中央部下面（デッキプレート下フランジ部）のひずみ変化を示す。荷重1回目すでにDRF(C)-4では約600 μ 、DRF(C)-6では約500 μ となっているが、200万回繰返し荷終了時には、まだ両試験体共1000 μ までに達していない。しかしDRF(C)-5では荷重が大きい為、30万回目で2100 μ まで急増し、その後も徐々に増加している。この事から中間支点上端筋が疲労破断した後もシアコッター無しでデッキプレートが引張材として有効に働いていることがわかる。

4) コンクリートのひずみ

図6に繰返し荷回数に伴うスパン中央上面のコンクリートひずみの変化を示す。DRF(C)-4、DRF(C)-6のひずみは20万回目までわずかに増加するが、それぞれ約300 μ 、約500 μ と小さく、それ以降の増加はみられない。荷重の大きいDRF(C)-5は30万回目に中間支点上端筋が疲労破断し、その影響でひずみが約1100 μ まで急増するが、その後は徐々に増加し140万回目で約1300 μ に達している。しかし破壊現象までにはまだ相当の余裕がある。

5) 鉄筋のひずみ

図7に繰返し荷回数に伴う中間支点上端筋のひずみの変化を示す。荷重1回目でのひずみはDRF(C)-4で約1200 μ 、DRF(C)-5は約1000 μ 、DRF(C)-6は約800 μ と

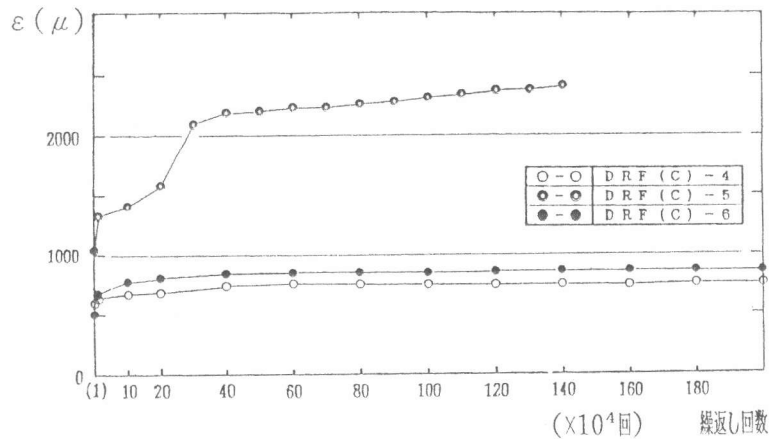


図5 デッキプレートのひずみの変化（スパン中央部下面）

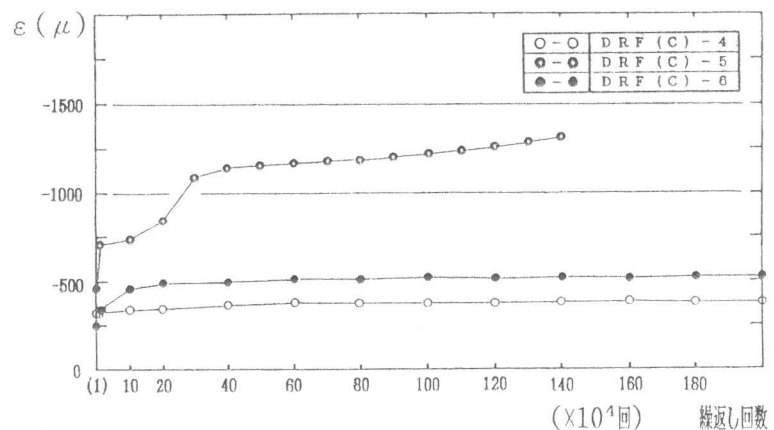


図6 コンクリートのひずみの変化（スパン中央部上面）

-6は約500 μ である。また、DRF(C)-4は40万回目でワイヤーメッシュが、DRF(C)-5も30万回目で異形鉄筋が疲労破断した。DRF(C)-6では200万回繰返し载荷終了時に約1200 μ まで徐々に増加しているが破断には至っていない。

6) 打継面のずれ

図8は繰返し载荷回数に伴うデッキプレートとコンクリートとの打継面のずれを示す。DRF(C)-4は200万回繰返し载荷終了までに0.23mmのずれがみられるが変化は小さい。DRF(C)-6は20万回目までに0.75mmと急増しているが、その後は200万回繰返し载荷終了まで大きな変化はない。DRF(C)-5は10万回目で1.15mm、30万回目で2.42mmと急増しその後も140万回目で3.23mmまで増加し、図7に示すように鉄筋が破断している。しかしデッキプレートがコンクリートを挟み込む様な形状をしている為、コンクリートとの一体性が保たれ破壊には至っていない。

7) ひびわれ図

図9は繰返し载荷実験終了時の床スラブ南側面のひびわれ図である。DRF(C)-4はA、Bスラブ及び中間支点上のひびわれの伸展が少ない、これは繰返し载荷上限値が低い為と思われる。

DRF(C)-5ではひびわれがA、Bスラブ及び中間支点上でよく分散しているが、圧縮縁近くまで伸展している。DRF(C)-6もA、Bスラブ及び中間支点上でひびわれがよく分散

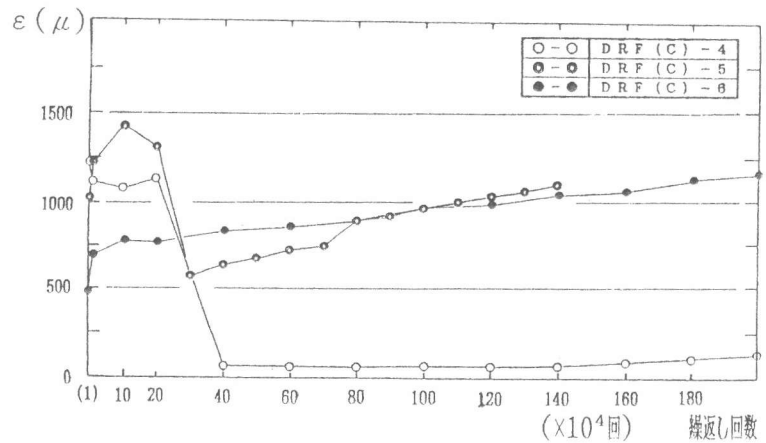


図7 鉄筋、ワイヤーメッシュのひずみ変化 (中間支点上端)

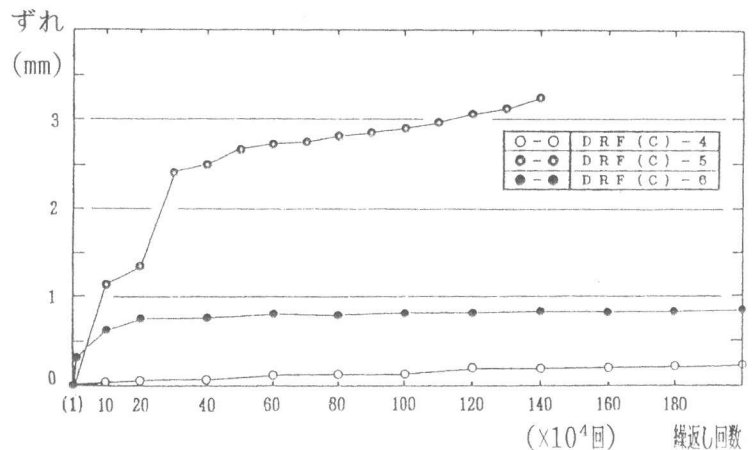


図8 デッキプレートとコンクリートとの打継面のずれの変化 (端部)

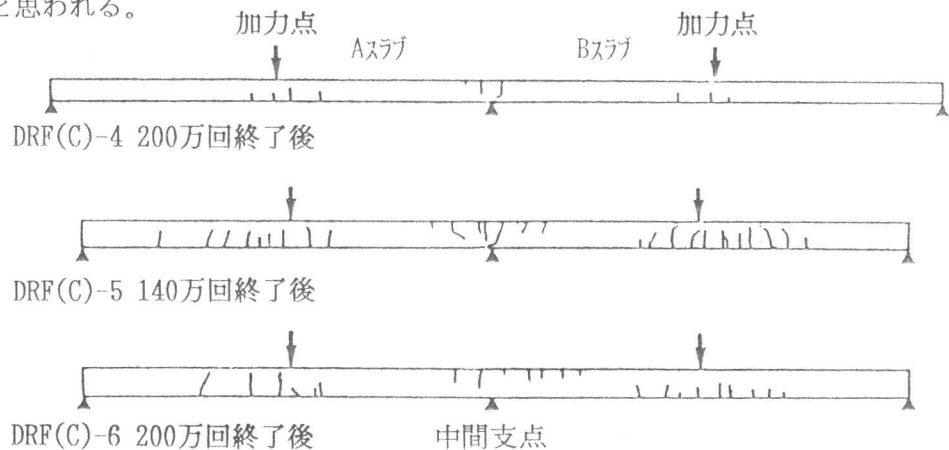


図9 ひびわれ図 (床スラブ側面)

しているが上限荷重がDRF(C)-5の2/3であるにも拘らずBスラブでは上縁近くまで伸展している。しかし、どの試験体も中間支点端部（梁側面の上部）でひびわれが発生し、かかり代が無い状態となり、上端筋破断後は単純支持荷重実験よりも不利な支持条件となる。

6. 短期荷重実験の考察 (繰返し荷重後)

図10に繰返し荷重終了後の静的荷重実験における荷重～たわみ曲

線を繰返し荷重していない結果と重ねて示す。図から明らかなように、この種の合成床スラブは、下面のデッキプレートが有効に働くため、どのタイプも靱性の高い性状を示している。またDRF(C)-4は繰返し荷重によって残留たわみが約2.5mmと小さく、最大荷重は繰返しのないDRS(C)-1と比べて96%と殆ど低下していない。DRF(C)-5は残留たわみが11mmと大きかったが最大荷重はDRS(C)-2の99%と殆ど変わっていない。この様に2体共繰返し荷重による耐力の低下は殆ど見られなかった。DRF(C)-6については同種のものがないので直接の比較は出来ないが残留たわみが約2.5mmと小さく、最大荷重もDRS(C)-2の15%増となっている。

7. 結び

1) 単一スパンで設計した床スラブであっても、コンクリート打設時に2スパンを連結し、その中間支点上を異形鉄筋によって十分に補強するならば、2スパンの連続床スラブとして耐力の増大、靱性の確保、ひびわれ性状の改善をはかることが可能である。

2) デッキプレート鋼板の厚さとコンクリートの厚さを共に約35%増すことによって約2倍の荷重による200万回の繰返し荷重に対しても十分耐え得る合成床スラブを得ることができる。

3) デッキプレート合成床スラブを2連続スパン形式で使用する場合は、終局耐力の1/3程度の荷重であれば200万回の繰返し荷重に対して、打継面のずれや残留たわみの増大を防止することはできないが耐力の低下は繰返しのない場合と比べてわずかである。

4) デッキプレート合成床スラブを2連続スパン形式で用いた場合、中間支点部でひびわれが発生し上端筋が破断すると荷重をデッキプレートだけで支えねばなくなり、ひびわれの位置次第で単純支持よりも不利な支持条件となることがある。しかし、この場合でもデッキプレートが引張材として有効に働くため、それから先の剛性低下は小さい。

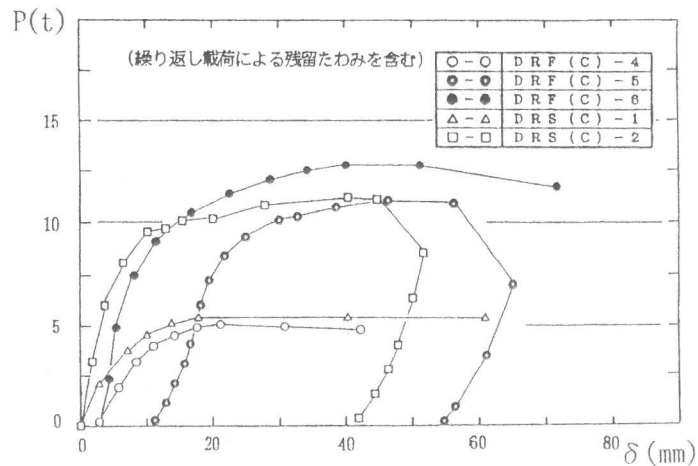


図10 荷重～たわみ曲線

参考文献 1) 杉山秀徳, 他3: デッキプレートを埋設型枠に用いた合成床スラブの多数回繰返し実験, 日本建築学会九州支部研究報告第31号, 1989.3, pp.285~288

2) 小森清司, 他3: デッキプレートをを用いた2連続スパン型合成スラブの疲労試験, 日本建築学会中国・九州支部研究報告第8号, 1990.3, pp.253~256

〔謝辞〕 本研究に御協力いただいた長崎大学大学院生近藤正治, 同学生内田健一朗, 古川栄治, 星野憲二, 吉富清剛の各氏に感謝いたします。