

報告 ひび割れ防止に PC 板を用いたデッキプレート合成床スラブに関する研究

小森清司*1・蓼原真一*2・永藤政敏*3・藤岡 宏*4

要旨：デッキプレート合成床スラブの連続端上面に発生するひび割れを防止するため、その部位にプレストレスを導入した PC 板を単純に設置する方法を提案し、その効果を調査するため、PC 板を表面に正しく設置した試験体や比較用として、PC 鋼線のかぶり不足を補うため、普通コンクリートで増し打ちした試験体や多量の鉄筋を配した試験体などを製作し、2 連続スパン形式によって鉛直載荷実験を行い、常用荷重下におけるひび割れ発生状況を観察した。その結果、まだ解決しなければならない問題点が残されているが、PC 板を床スラブに設置する方法がひび割れ防止に有効な手段となり得るとの感触を得た。

キーワード：デッキプレート、合成床スラブ、ひび割れ防止、PC 板

1. はじめに

デッキプレート合成床スラブは、建物の軽量化、施工の簡易化、工期の短縮化及び省力化などの利点を有しているため、鉄骨建物において重宝されているが、近年、用途の多様化に伴い、常用荷重下においてひび割れが発生し始め問題になってきている。そこで本報告では、ひび割れの防止対策として、プレストレスを導入した PC 板を連続端上面に設置する単純な方法を提案し、多量の鉄筋を配した試験体と同条件のもとで試験体を作製し、鉛直載荷試験を行ない、常用荷重下におけるひび割れ発生とその伸展に焦点を合わせて考察を行なう。

2. 試験体

試験体は、図 1 に示すスパン長 270 cm、幅 61.7 cm、床スラブの全丈 13 cm、コンクリート厚 8 cm、デッキプレート丈 5 cm の 2 連続スパン形式の一方単純支持床スラブ 3 体よりなる。その

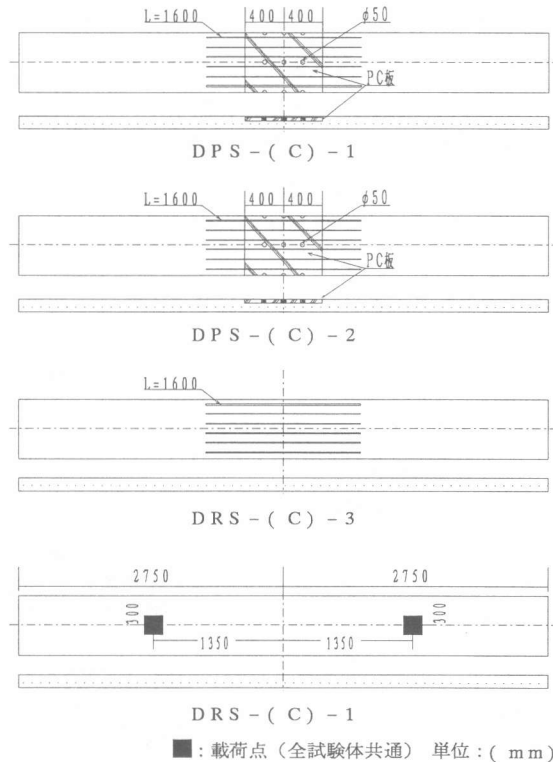


図 1 試験体平面図及び配筋図

*1 長崎大学教授 工学部構造工学科、工博（正会員）
 *2 長崎大学助教授 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 合成スラブ工業会（正会員）

うち、DPS-(C)-1とDPS-(C)-2 の2体には、P C鋼より線(3-2.9φ)を図2に示すP C板の心位置に6本配置し、17.0tonfのプレストレスを導入した厚さ4cm、幅61.7cm、長さ80cmのP C板を図1、図4に示すように試験体の連続端上面に設置している。しかし、設置方法は両者で若干異なり、前者にはP C鋼線に対するかぶり確保のため、前もって1.5cmのかぶりを施したが、後者にはP C板のかぶりをとらずに表面に正しく設置している。DRS-(C)-3はDPS-(C)-2と同価の耐力が得られるよう異形鉄筋D10、D13をそれぞれ3本ずつ交互に配筋したR C床スラブである。試験体下面のデッキプレートは下フランジをタブテーブル形状に成形し、コンクリートとの噛み合わせ効果を利用して一体性を高めている。また、全試験体共、ひび割れ対策を施した連続端上面の160cm区間以外の全区間には6φ-150×150@の溶接金網を配筋している。DRS-(C)-1は平成2年度に実験した試験体¹⁾であるが、現在使用されている標準型の床スラブとして、前3者との比較のため再掲した。この試験体には6φ-150×150@の溶接金網が床スラブの上面全域に配筋されている。また、DPS-(C)-1とDPS-(C)-2に設置したP C板には、現場打ちコンクリートの逆打ちによる廻り込みを良くするためφ50の円形開口を設けており、P C板の下面は刷毛仕上とし、現場打ちコンクリートとの付着性能を向上させている。図3に各試験体の断面詳細を示し、表1及び表2に使用材料の機械的性質を示す。

3. 実験方法及び測定方法

図4に実験装置と載荷方法を示す。実験は試験体の両端を5cmの掛かり代でもって単純支持し、連続端下面を固定した2連続スパン形式の試験

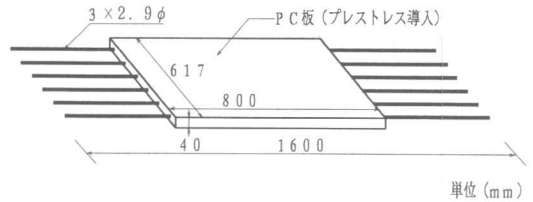


図2 PC板見取り図

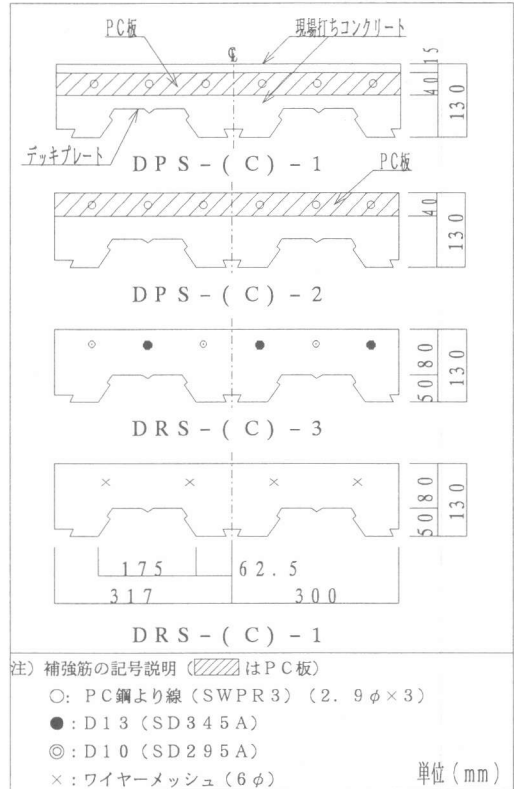


図3 試験体詳細図(連続端)

注) 補強筋の記号説明 (斜線) は P C 板)

○: P C 鋼より線 (SWPR3) (2.9φ×3)

●: D13 (SD345A)

◎: D10 (SD295A)

×: ワイヤメッシュ (6φ)

単位 (mm)

表1 コンクリートの機械的性質

試験体名称	P C板コンクリート			現場打コンクリート		
	材合 (日)	圧縮強度 kgf/cm ²	ヤング係数 ×10 ⁴ kgf/cm ²	材合 (日)	圧縮強度 kgf/cm ²	ヤング係数 ×10 ⁴ kgf/cm ²
DPS-(C)-1	9 0	4 6 0	3. 6	8 3	1 7 0	2. 0
DPS-(C)-2	9 6	4 6 0	3. 6	1 0 0	1 7 2	2. 0
DRS-(C)-3	—	—	—	7 7	1 6 7	1. 9
DRS-(C)-1	—	—	—	3 5	2 6 0	2. 6

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	ヤング係数 ×10 ⁴ kgf/mm ²
デッキプレート t=1.2, h=50(SDP2GA)	30.0	4.4	3.4	1.9
異形鉄筋 (SD295A)D10	71.3	5.5	4.0	1.9
異形鉄筋 (SD345A)D13	126.7	5.1	3.6	1.9
ワイヤメッシュ(6φ)150@×150@	28.3	5.8	—	2.1
P C 鋼より線(SWPR3)(2.9φ×3)	19.8	2.08	1.96	2.0

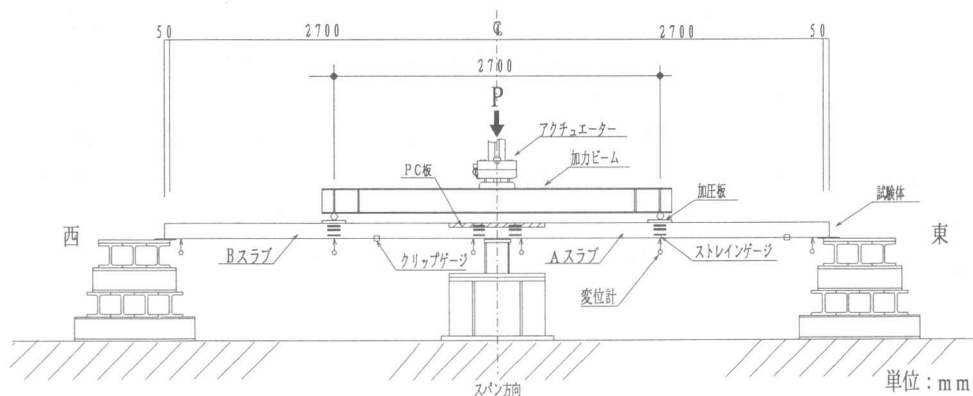


図4 実験装置及び載荷方法

体に対して、30 tonf油圧式門型試験機を用い、加力ビームを介して加重を2分割し載荷した。また、各スパンの中央点のたわみは変位計と鋼尺で、コンクリート、デッキプレート及び鉄筋の歪みはスパン中央、連続端の材側に歪みゲージを貼付し、コンクリートとデッキプレートとの打ち継ぎ面の相対ずれはクリップゲージによって測定した。ひび割れの発生は目視により観察し、DPS-(C)-1とDPS-(C)-2に対しては、連続端上面のひび割れ幅の伸展状況を同部位上面の稜線に沿って連続に取り付けた検長10cmのπ型ゲージによって測定した。DRS-(C)-3も同様の方法で50cm間だけ測定した。また、DRS-(C)-1のひび割れ幅はクリップゲージにより測定した。

4. 実験結果及び実験結果の考察

表3に実験結果と計算結果及びその比を示し、図5に常用荷重時、図6に終局までの各試験体連続端上面における引張ひずみとひび割れ幅の伸展状況を示す。図7に、DRS-(C)-1を除く3体の試験体上面及び側面の終局時のひび割れ状況とひび割れ幅を示す。また、図8には各試験体の荷重～たわみ曲線を示す。

1) ひび割れを誘引するコンクリートの引張ひずみ

本節では、単位面積当たりの積載荷重 $w_{LL} = 0.5 \text{ tonf/m}^2$ を常用荷重と定義し、その荷重範囲内でひび割れが発生するかどうか、また、ひび割れを誘引するコンクリートの引張りひずみがどのように増大していくのかを考察する。この場合、この等分布荷重 $w_{LL} = 0.5 \text{ tonf/m}^2$ に相当する実験時の集中荷重は $P_{LL} = 1.67 \text{ tonf}$ と表せる（連続端上面の曲げモーメントが、等分布荷重時と集中荷重時とで等価になる

表3 実験結果と計算結果及びその比

試験体名称	初期剛性 (tf/cm)	実験値 (A)				最大荷重 (tonf)	計算値 (B)				A/B	
		スパン中央上面		連続端上面			最大荷重 時たわみ (mm)	初期剛性 (tf/cm)	連続端上面のひび割れ発生 荷重 (tf)	最大 荷重		
		デッキプレート 降伏荷重 (tonf)	打継面の ずれ荷重 (tonf)	ひび割れ 発生荷重 (tonf)	上端筋 降伏荷重 (tonf)							
DPS-(C)-1	Aスラブ	8.12	8.0	1.80	—	11.0	19.1	11.65	11.9	2.06	0.92	0.87
	Bスラブ	9.72	7.4	—	—		21.1	11.14				
DPS-(C)-2	Aスラブ	10.40	11.8	9.3	3.51	11.3	47.3	10.68	12.5	7.05	0.90	0.50
	Bスラブ	9.52	11.0	6.7	—		30.1	10.42				
DRS-(C)-3	Aスラブ	11.49	8.7	2.90	10.5 (D13)	11.3	19.5	10.94	10.9	1.93	1.04	1.50
	Bスラブ	13.55	10.7	7.2	10.6 (D10)		47.7	10.40				
DRS-(C)-1	Aスラブ	8.25	4.30	—	3.25 (6φ)	5.46	16.5	12.48	9.5	1.92	0.57	—
	Bスラブ	7.30	4.34	5.46	—		45.0	12.34				

注1) 上端筋降伏荷重は、D13では中央主筋が、D10では両側主筋が降伏したときの値を示す。注2) 最大荷重時のたわみは、A、Bスパン中央のたわみを測定した。注3) — 部は、本実験では測定できなかったものとする。注4) DRS-(C)-1は連続端上面に初期ひび割れを生じていたため発生荷重の確認が出来なかった。

よう応力を換算し、更に、短期用として1.5の安全係数を見込んでいる)。図5は $P=2.0\text{tonf}$ 範囲内での連続端上面コンクリートの引張ひずみの伸展状況を3試験体について比較したものである。ただし、ひずみの測定値はひび割れ発生の可能性を秘めた10cm間のコンクリートひずみの総量を π ゲージによって測定して表している。この図からわかるように、 $P=1.8\text{tonf}$ 以下の範囲では、3試験体共ひび割れ発生を誘引するひずみは徐々に増大しているが、まだひび割れは発生しておらず、ひび割れ幅の制限値(0.3mm)にははるかに及んでいない。ところが、PC板にかぶりをとって沈み込ませたDPS-(C)-1や異形鉄筋を多量に配筋したDRS-(C)-3では、極わずかではあるが荷重当初から荷重増と共にひずみ量の増加がみられ、常用荷重時(1.67tonf)にはひずみが(0.028mm)まで伸展している。一方のPC板を表面に設置したDPS-(C)-2は、プレストレスが有効に働いているためか荷重後も1.0tonfまではひずみの増加がみられず、1.0tonfを越えた荷重付近からひずみが徐々に伸展しはじめているが、常用荷重時でも(0.0062mm)にしか達しておらず、他の2体の22%とかなり伸展が遅れていることがわかる。このことから、常用荷重の範囲ならば、PC板を表面に正しく設置する方法は、異形鉄筋を多量に配筋したもの以上に、連続端上面のひび割れ発生を防止する有効な手段となりうると思われる。

2) ひび割れ発生荷重とその後の伸展

図6は全荷重域におけるひび割れ幅の伸展状況を示す。目視によるひび割れの発生荷重は3試験体共1.8tonf、3.51tonf、2.90tonfと高く、常用荷重1.67tonfを越えている。ひび割れの伸展はひび割れの発生と同時に急増していくが、DPS-(C)-1はひび割れ幅の伸展が特に速くなっている。また、DPS-(C)-2はひび割れ発生後ひび割れ幅の一時的な増加はあるものの、その後は急激な伸展もなく終局に至っている。

3) 終局のひび割れ状況

本報が対象としているひび割れは常用荷重下における初期ひび割れであるが、参考までに、図7にDPS-(C)-1、DPS-(C)-2、DRS-(C)-3の連続端上面及び両側面に発生した終局のひび割れ状況とひび割れ幅を示す。図中の破線は試験体搬入時にPC板と後打ちコンクリートとの打継ぎ面に発生した上面貫通のひび割れ発生を示す。これはPC板の端部接着面に刷毛仕上げを施さなかったため、付着抵抗が小さくなり起こったと考えられるが、その後のひび割れ幅は増加していないところを見ると、ひび割れは表面にとどまっている。また、PC板下面の剥離現象もみられておらず、PC板下面の刷毛仕上げは有効であったと考えられる。しかし試験体側面にはPC板に沿っ

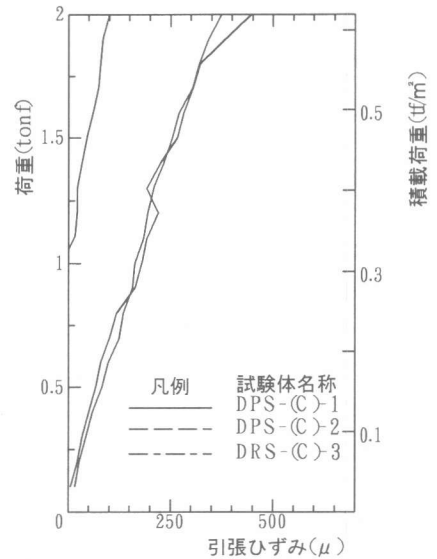


図5 常用荷重域の引張ひずみ増大

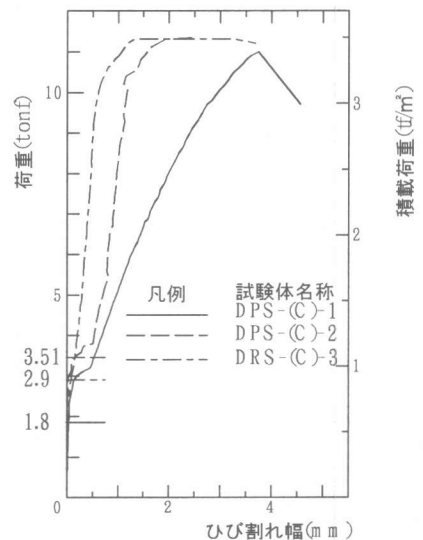
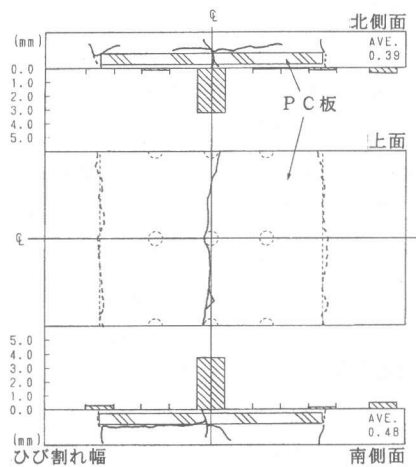


図6 全荷重域のひび割れ幅伸展

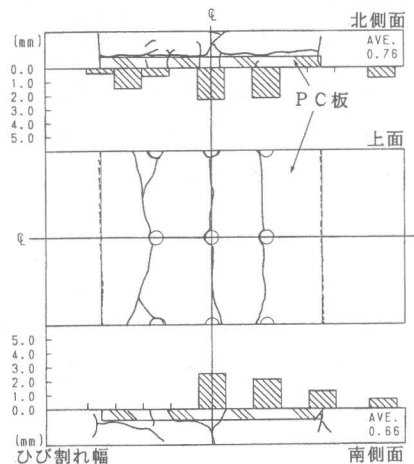
たスパン方向のひび割れが発生していることを考慮にいれば、PC板下面には付着せん断抵抗が期待できるようなより効果的な表面処理を施す必要があると思われる。ひび割れの分散性能の面では、DPS-(C)-1は載荷前のひび割れを除けば、連続端上面にただ一本だけひび割れが集中してはいつている。そのため、ひび割れ幅は大きくなり分散性能は劣っている。DPS-(C)-2のひび割れ幅の平均値は0.7mm程度となっており、DRS-(C)-3の0.9mm程度よりも小さいが、分散性能はかなり落ちている。このことは終局時、DPS-(C)-2はひび割れの本数は少ないが、個々のひび割れ幅が大きいのに対し、DRS-(C)-3はひび割れの本数が多く個々のひび割れ幅が小さいため、DPS-(C)-2より分散性能は優れていると考えられる。また、現場打ちコンクリートの廻り込みを良くするため、PC板に設けた円形開口部の打ち継ぎ面に沿ってひび割れが発生した。これは開口をスパンと直交方向に一列に並べて設けたためだと考えられる。

4) 荷重～たわみ関係

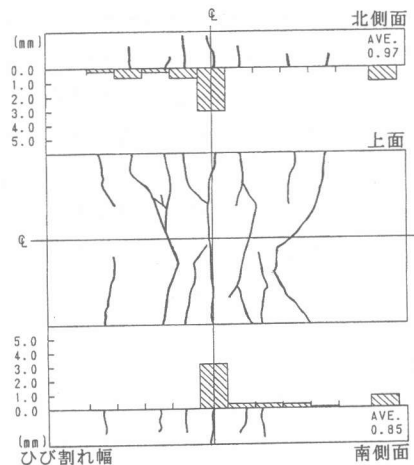
図8は全試験体の荷重～たわみ関係を重ねて比較したものである。長期設計荷重時 $P_L=4.3\text{tonf}$ のたわみは3試験体共制限値 $l_x/360$ を越えていない。ここで言う長期設計荷重とは床スラブ下面中央のデッキプレートが許容応力度に達する荷重を指し $w_L=3.3\text{tonf/m}^2$ と表せる。これを実験荷重に換算すると $P_L=4.3\text{tonf}$ となる。また、DPS-(C)-2、DRS-(C)-3はそれぞれ、9.3tonf、8.7tonfの時点でデッキプレートとコンクリートの打継ぎ面がずれた後にたわみの増加がみられるが、それ以降はデッキプレートの噛み合わせ効果が有効に働いて耐力も若干増大し $\delta=4\text{cm}$ 時まで急激なたわみ増を示していない。しかし、DPS-(C)-1は $\delta=2\text{cm}$ で終局に達しており、靱性の面で若干不満が残る。このことは、同じPC板を設置する場合でもかぶりをとらず表面に正しく設置すればそれだけ良い結果がえられことを示唆している。



DPS-(C)-1



DPS-(C)-2



DRS-(C)-3

図7 ひび割れ図及びひび割れ幅

5) 初期剛性

図8によれば、P C板を用いたDPS-(C)-1、DPS-(C)-2及び異形鉄筋を多量に配筋したDRS-(C)-3の初期剛性は3体共、溶接金網のみを配筋した標準型のDRS-(C)-1より1.2~1.6倍高い値を示している。P C板をかぶりなしで設置しているDPS-(C)-2の方が1.5cmのかぶりをとって設置しているDRS-(C)-1よりも当然とはいえ高い値を示している。

6) 最大荷重

最大荷重はP C板を連続端上面に設置したDPS-(C)-1、DPS-(C)-2及び、鉄筋を多量に配筋したDRS-(C)-3の3体共、積載荷重に換算して6.8tonf/m²と大きくなった。そのため、通常用

いられているDRS-(C)-1の耐力に比べて約2倍以上の耐力を示している。これは本来、通常のでデッキプレート床スラブには、設計上、連続端上面の曲げ耐力を期待していないのだが、今回は、たまたま、ひび割れ防止用として挿入したP C鋼線や異形鉄筋が終局耐力の増大に大きく貢献し、予想外の効果をもたらすことになった。

5. 施工上の問題

現場でコンクリートを打設する際、表面に設置するP C板が長いとコンクリートの廻り込みが悪くなって不都合が生じると考え、P C板の長さを80cmに切り詰めたが、施工上はもっと長くても支障がないことが分かった。また、5φの円形開口も、もっと小さくても良いことや、設ける場合は、開口が一直線配列になるのを避け、千鳥配列にするなどの配慮が必要なが分かった。

6. 結び

デッキプレート合成床スラブの連続端上面にひび割れ防止用としてプレストレスを導入したP C板を正しく表面に設置する方法は、常用荷重(0.5tf/m²)の範囲内であれば標準のデッキプレート床スラブはもちろんのこと、その部位に多量の鉄筋を配して補強したRC床スラブよりも、連続端上面コンクリートのひび割れ発生を遅らせることが可能であり、ひび割れ発生後のひび割れ伸展制御にも効果があり、しかも余得として、耐力の増大が見込めることが分かった。しかし、さらに高度なひび割れ防止を期待する場合には、単純に設置するP C板の性能をP C鋼線の径、かぶり、定着長さの確保や、コンクリート打設に関わるP C板の長さ制限、端部接着面の処理、コンクリートの逆打ちのために必要な開口部の大きさ、数と配列などの面から、もっと見直し改善する必要があることが分かった。

参考文献

1) 堤・小森・伊藤：デッキプレートを用いた2連続スパン型合成床スラブの多数回繰り返し載荷実験、日本建築学会九州支部研究報告、第32号、1991年3月

謝辞

本研究に御協力戴いた長崎大学大学院生野間口英雄、神浦英樹、柳川正光、同大学生石田治子、稲戸玄太郎、迫田充、長野敬、藤野真也、正木寛己、日鐵建材工業の諸氏に深謝致します。

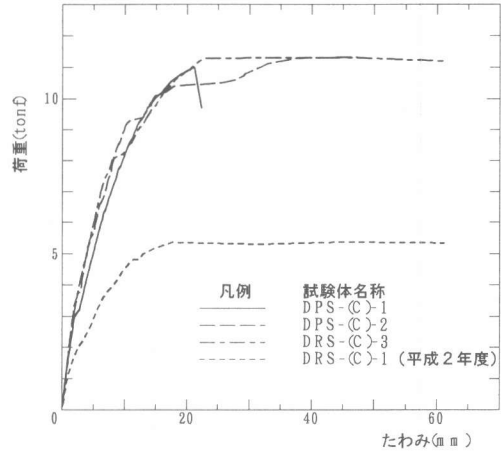


図8 荷重～たわみ曲線