

[1031] 構造目地を有する鉄筋コンクリート腰壁付きはりの収縮特性

正会員 ○ 大久保全陸 (九州芸術工科大学芸術工学部)  
 正会員 塩屋 晋一 (九州芸術工科大学芸術工学部)  
 波多江英治 (九州芸術工科大学大学院)

1. まえがき

鉄筋コンクリート腰壁付き骨組の耐震設計に際して、腰壁の存在による柱の短柱化を回避させるため、腰壁と柱との付け根に断面欠損型の構造目地を設けるディテール設計法があり、構造目地を有する部材の力学的特性に関する研究が各所で行われている [1], [2]。

構造目地は、耐震設計上の観点から必要とされるものであるが、外壁を構成する腰壁に構造目地を設ける場合には、目地部からの雨漏に対する防水対策が必要となり、コンクリートの乾燥収縮等による影響も含め、常時応力下での目地部近傍のひび割れ性状に関する資料整備も必要とされている。

本報告では、破壊実験を行って耐震設計上の資料をうるために作製された2体の実大スケールの腰壁付きはりについて、そのコンクリート打込みから破壊実験までの約8ヶ月間乾燥収縮による歪やはりの変形等に関する経日変化を実測した結果について分析する。また、諸データについて乾燥収縮等に関する既往の研究成果と比較検討する。

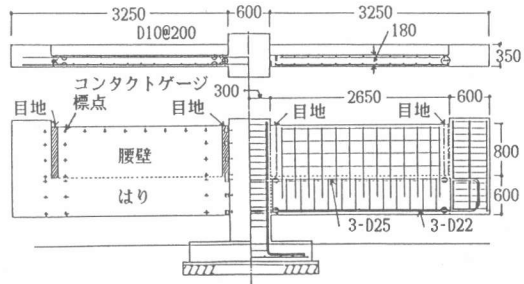


図1 試験体A及びBの形状・寸法・配筋

2. 実験計画

2.1 試験体の形状・寸法・配筋等

腰壁付きはり試験体の形状・寸法・配筋等を図1に示す。試験体は図示のように中央の柱から左右対称形に腰壁付きはりを張り出させた形状をしている。構造目地は左右のはりとも、腰壁と中央の柱との付け根及びはり先端に設けた柱型と腰壁との付け根の2ヶ所に設けている。片持ちばり形とした理由は、前述した後の破壊実験の都合、及び構造目地が位置するはり端の長期荷重時応力をできるだけ実情に近い状態として歪等の長期観測をしたいこと等の理由によっている。

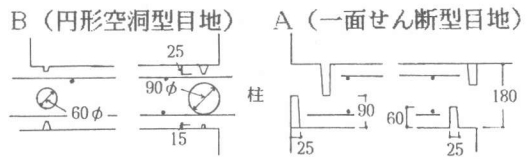


図2 構造目地部の詳細

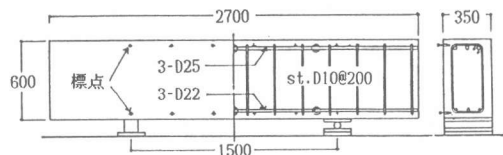


図3 はり部分試験体 (FB1, FB2)

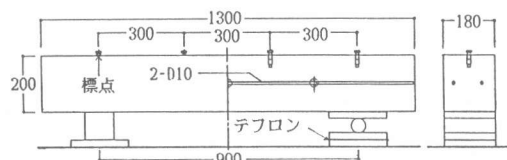


図4 腰壁部分試験体 (FW1, FW2)

図1の形状をした腰壁付き試験体を2体作製し、Aには一面せん断型の構造目地を、また、Bには円形空洞型の構造目地を設置した。構造目地の詳細を図2に示す。

また、乾燥収縮特性だけを測定するため、はりや腰壁の一部を取り出した形状の部分試験体を作製した。はりや腰壁の部分試験体それぞれについて、鉄筋を配筋したものと無筋のものを計画した。部分試験体の形状・寸法・配筋等を図3と図4に示す。

## 2.2 試験体の作製

腰壁付きはり試験体A, Bの2体は、できるかぎり通常の現場施工に合わせるようにして作製した。すなわち、コンクリートの打込みにはポンプを用い、腰壁より上の部分は、はり部分までを打込んでから12日後に打ち継ぎ、はり下の型枠脱型は打設の3週間後にコンクリート強度の発現状況を確認してから行った。乾燥収縮測定用の腰壁及びはり部分試験体は、腰壁付きはり試験体A, Bの腰壁及びはりそれぞれ同一のコンクリートで作製した。

一面せん断型目地の作製には木製の目地型を使用し、型わく脱型時にこれを除去したが、円形空洞型目地の作製に用いた薄肉塩ビパイプは、観測期間中もそのままの状態とした。

## 2.3 使用材料の力学的特性

コンクリートと鉄筋の材料試験結果を表1に示す。コンクリートの設計基準強度は  $210\text{kg/cm}^2$  であり、配合時の目標スランプは  $18\text{cm}$  である。空中放置されたシリンダーによる材令4週時のコンクリートの圧縮強度は、同配合にもかかわらず腰壁用とはり用とでかなりの差が生じた。材令4週から8ヶ月にかけて、圧縮強度は、腰壁用、はり用共ほぼ15%程度の伸びを示したが、割裂引張強度に関しては殆ど強度の伸びは見られなかった。

鉄筋はすべてSD30であり、その降伏点強度は、いずれも規格最低限值より約2~3割高い。

## 2.4 測定方法

測定期間中の乾燥収縮等によるコンクリート表面の歪を図1~図4に示す標点位置でコンタクトゲージにより測定した。試験体A, Bのはり先端位置の鉛直たわみ $\delta$ をダイヤルゲージで測定した。また、測定期間中、試験体は仮設建物で覆っており、同室内の温度と湿度を自記温湿度記録計によって測定し、コンクリートの内部温度を埋め込み型ゲージによって測定した。

## 3. 温湿度の測定結果

コンクリート打込み(11月上旬)から測定終了(7月上旬)までの約8ヶ月間の室内温湿度の測定結果を図5と図6に示す。図5には埋め込み型ゲージで測定したコンクリートの内部温度を合わせて示した。コンクリートの内部温度は、腰壁部においてもはり部においても顕著な差はなく測定開始から5月頃までは、室温とも良い対応を示した。5月下旬以降の比較的高気温時にコンクリートの内部温度と室温との間に顕著な差が生じ、前者が後者より低くなっている。この点に関しては、測定を午前10時頃から開始しているため、コンクリートと空気との間の熱容量の差に基づく温度上昇の遅れによる現象が主要な原因となっていることも考えられる。

実験室内の湿度については、図6に見られるように短期的に見ると約50~90%の間で激しく変化しているが、長期的にその平均値で見ると図中の曲線で示すように約70~80%程度である。

なお、各図とも横軸(日数)の原点は、試験体A, Bのサポート撤去時を基準としており、この座標軸の取り方(以下、基準材令と呼ぶ)については、

以降のすべてのグラフについても共通とした。その理由は、はりや腰壁とでコンクリート打込み日が、約2週間ずれて

表1 使用材料の力学的性質

コンクリート		$F_c$ ( $\text{kg/cm}^2$ )			$F_{sp}$ ( $\text{kg/cm}^2$ )	
		228 (4週)	249 (3ヶ月)	260 (6ヶ月)	20.2 (4週)	20.0 (6ヶ月)
はり		228 (4週)	249 (3ヶ月)	260 (6ヶ月)	20.2 (4週)	20.0 (6ヶ月)
腰壁		176 (4週)	215 (3ヶ月)	207 (6ヶ月)	15.3 (4週)	16.6 (6ヶ月)
鉄筋		$\sigma_y$ ( $\text{t/cm}^2$ )		$\sigma_{max}$ ( $\text{t/cm}^2$ )		$E_s$ ( $\text{kg/cm}^2$ )
	D10	4.04		5.53		$1.71 \times 10^6$
	D16	3.76		5.38		$1.72 \times 10^6$
	D22	3.83		5.51		$1.67 \times 10^6$
	D25	3.79		5.53		$1.80 \times 10^6$

いること、温湿度や歪等の測定開始日とはりのたわみの測定開始日がずれていること等があり、実質の材令で表すより基準材令で表す方がデータが見やすいためである。基準材令の0日より以前のデータについては、便宜上、負の材令で表している。

#### 4. 自由収縮歪の測定結果

図7に無筋コンクリートはりの部分試験体(FB2)による自由収縮歪 $\epsilon_{sh}$ と基準材令 $t$ との関係を示す。 $\epsilon_{sh}$ はコンクリート打込みから4日目を起点とし、その後の変化で表している。図では同一試験体における10ヶ所の異なる測定区間での測定値をすべて示し、破線の平均値と比較している。測定区間の違いによる $\epsilon_{sh}$ のバラツキは、基準材令約220日の最終時点で平均値に対して約-40%~+80%となっている。紙数の関係で図を割愛するが、鉄筋を配筋したもう一つのはり部分試験体(FB1)でも、FB2と同様にかかなりのバラツキが見られたが、腰壁部分試験体のFW1(鉄筋有)、FW2(無筋)ではいずれもバラツキが少なく、試験体の断面寸法の違いによる差が観察された。はり型試験体のFB1、FB2では、基準材令で約70日目あたりから断面上部の両コーナーに微細なローカルクラックが発生し、材令の増加につれてその本数が増したが、このひび割れ発生もはり型試験体における各測定区間間の測定値のバラツキを大きくした要因と思われる。

図8は、2体のはり部分試験体(FB1:鉄筋有、FB2:無筋)について、鉄筋の有無による収縮歪(10測定区間の平均値)の違い、及び既往の研究成果との対応を見たものである。図9は、腰壁部分試験体について同様な関係を示したものである。

図8と図9から、1)はり部分試験体と腰壁部分試験体とでは、収縮歪の経日変化はかなり異なり、断面寸法の影響が顕著に現れていること、2)両部分試験体とも、無筋試験体の収縮歪は鉄筋を配筋したものより大きく、鉄筋による収縮歪の拘束効果は、はり型試験体( $p_g = 1.4\%$ )の方が腰壁型試験体( $p_g = 0.4\%$ )より大きいこと、等がわかる。

収縮歪の経日変化に関する既往の式については、Branson式[3]と坂・岡田式[4]を引用し湿度70%の場合に対する曲線を示して比較した。はり部分試験体(図8)では実測値は既往の提案式による曲線をかかなり下回り、特に基準材令が小さいところでその傾向

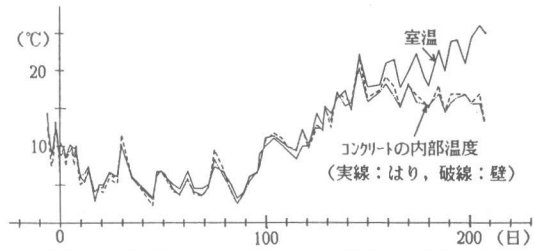


図5 室温とコンクリート温度の測定結果

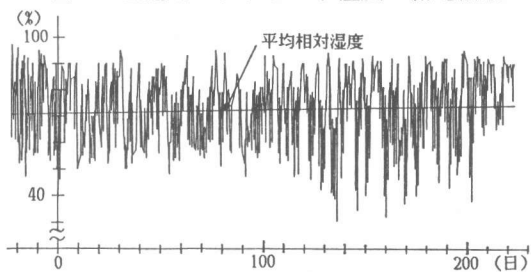


図6 室内湿度の測定結果

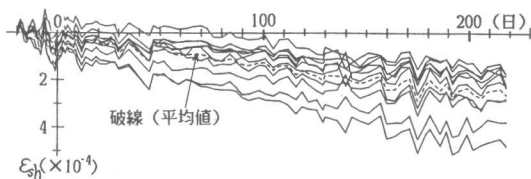


図7 はり部分試験体 (FB2)の自由収縮歪

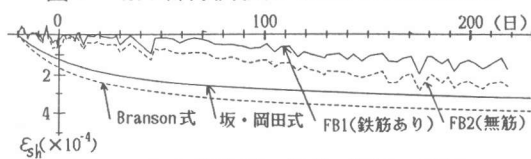


図8 自由収縮歪の比較 (FB1, FB2)

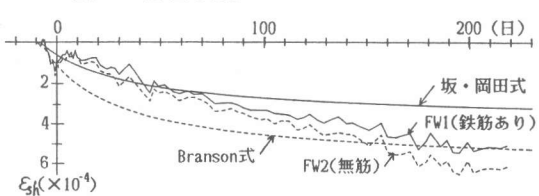


図9 自由収縮歪の比較 (FW1, FW2)

が強い。Branson式の場合には、寸法効果による修正が可能であり、はり型と腰壁型とで収縮歪の計算値を変えて示してあるが、寸法効果による影響は実測値の方が Branson式より大きい。

## 5. 腰壁付きはり試験体A, Bの挙動

### 5.1 たわみの経日変化

図10にA, B両試験体のはり先端の実測たわみ $\delta$ （左右のはりの平均値）の経日変化を示す。たわみ $\delta$ は、はり下サポート撤去時に試験体自重による曲げモーメントをうけて瞬間たわみ $\delta_e$ を生じ、その後は乾燥収縮とクリープの影響をうけて経日変化を生じている。

たわみの経日変化は、はり端に一面せん断型の構造目地を設けたA試験体では、腰壁の横筋が柱内に定着されていないため増加傾向にあるが、腰壁横筋を柱内に定着した円形空洞型構造目地のB試験体では、若干、減少傾向にある。この点については、後に5.6で検討する。

サポート撤去時に試験体自重による曲げモーメントによって、A, B両試験体とも腰壁と柱との付け根位置の構造目地部に図11に示すひび割れが発生した。これによって、瞬間たわみ $\delta_e$ は全断面有効とした弾性たわみの計算値の約2~3倍に増加した。ひび割れ発生を考慮したACI基準による等価断面2次モーメント[5]を用いて瞬間たわみ $\delta_e$ を計算すると、その値は実測値に近づく（A：実/計=0.82, B：実/計=0.64）。

### 5.2 構造目地部のひび割れ

前述のように、A, B両試験体ともはり下サポート撤去時に構造目地部には自重による曲げモーメントによって図11に細線で示すひび割れが発生した。一面せん断型目地は、曲げモーメントをうけると、目地部には局部的な面外偏心モーメントが作用するために、目地奥の隅角部から伸びているひび割れ（細線）は斜め方向に進展している。このひび割れパターンは、この種の構造目地を有する部材の破壊実験で観察されるパターンと同じである。サポート撤去時に生じたこのひび割れは、その後、基準材令40日時点で太線で示すように若干進展したが、腰壁の高さ方向の進展深さについては観察不能であった。また、基準材令40日の時点では、柱フェース沿いに目地部残存コンクリートを貫通する新たなひび割れが生じた。このひび割れは材令の増加につれて腰壁の高さ方向に進展し、測定期間の最終時点においては腰壁下端（はり上端）まで達していた。

円形空洞型目地のB試験体の場合は、サポ

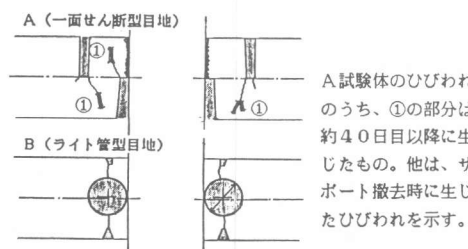


図11 構造目地部のひび割れ状況

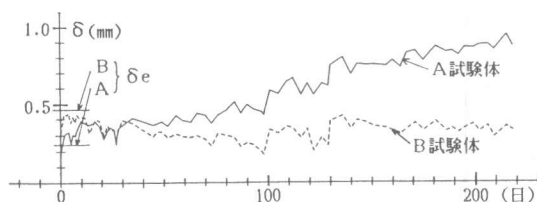


図10 A, B試験体のたわみの経日変化

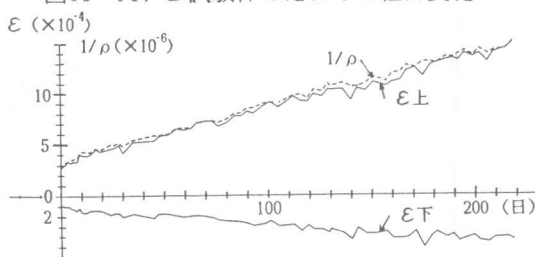


図12 A試験体の曲率・圧縮引張両縁の歪

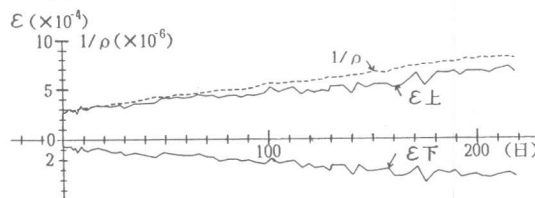


図13 B試験体の曲率・圧縮引張両縁の歪

ート撤去時に生じた目地部の曲げひび割れが測定期間の最終時点では、はり断面中央まで進展しひび割れ幅が若干増加したが、それ以外のひび割れは生じなかった。

### 5. 3 はり材端断面の曲率、引張縁及び圧縮縁の歪の経日変化

図12と図13にA、B両試験体のはり端（柱との付け根）約30cm区間で測定した腰壁上端引張縁近傍及びはり下端圧縮縁近傍の歪の経日変化と両歪を基にした断面曲率の経日変化を示す。

両図の比較から、1)引張縁近傍の歪（ $\epsilon$ 上）の経日変化は、柱内への腰壁横筋定着有無の違いによってかなり異なり、A試験体はB試験体の約2倍となっている、2)圧縮縁近傍の歪（ $\epsilon$ 下）については、A、B両試験体間に大きな違いは見られず、ほぼ同じであり、この歪には乾燥収縮とクリープの両者の影響が含まれているが、これらに及ぼす腰壁横筋定着有無の影響は小さい、3)引張縁歪の増加傾向の違いが、主として、曲率の経日変化にも反映されている、等がわかる。

### 5. 4 腰壁コンクリートの乾燥収縮歪

図14は、A、B両試験体について腰壁上端の収縮歪（目地のない区間 210cmの平均値）を図9に示した腰壁部分試験体による自由収縮歪と比較して示したものである。図から、1)腰壁上端近傍は、曲げ材として見た場合には断面の引張側であるにもかかわらず、目地部以外の各区間の歪は乾燥収縮の影響を強くうけて縮んでいる、2)収縮歪は、A、B両試験体とも殆ど同じであり、その経日変化は、図9に示した腰壁部分試験体による自由収縮歪の経日変化ともほぼ同等であることがわかる。

### 5. 5 圧縮縁コンクリートのクリープ歪

前述の図12及び図13に示したはり下端圧縮縁の歪の経日変化には、コンクリートの乾燥収縮による歪と曲げ応力によるクリープ歪が含まれている。図15は、その歪から図8に示したはり部分試験体による自由収縮歪を差し引いた値（クリープ歪と考えられる）を基にして、クリープ係数を算出し、Branson [3] 及び坂・岡田 [4] による値と比較したものである。図中のBranson式では、湿度を70%とし、終局クリープ係数を標準状態における2.35として計算し、また、坂・岡田式では標準状態としての係数を使用した計算値を示している。

図に見られるように、実測値を基にしたクリープ係数は、A、B両試験体間には大きな相違はなく、その経日変化の全体的な傾向は坂・岡田式に比較的近くなっている。

### 5. 6 たわみの経日変化の分析

図16及び図17に、A、B両試験体のはり先端のたわみ $\delta$ を乾燥収縮とクリープの影響を考慮して分析した結果を示す。

図中の曲線①は、実測たわみであり、曲線②は、図12と図13に示したはり端の曲率を基にして腰壁付きはりがはり端の曲率増加だけで剛体的に変形すると仮定したときのたわみを示す。図に見られるように、A、B両試験体とも、曲線②は実測たわみより大きい、その差を示す曲線③（①-②）は、A、B両試験体間に大きな差は見られない。実測たわみ①が、はり端位置で剛体的に回転すると仮定されたたわみ②より小さくなっている理由

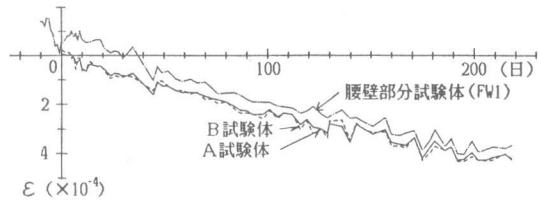


図14 A、B試験体の腰壁上部の収縮歪

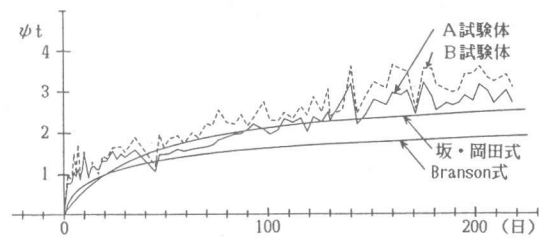


図15 はり下端コンクリートのクリープ係数

として、腰壁部分とはり部分との乾燥収縮歪の違いによって生じる腰壁付きはり断面部材の反り上がり変形の存在が考えられる。

曲線④と⑤は、自由収縮歪の実測値（図8と図9）を使って、腰壁とはりの収縮量の違いによって生じる部材先端の反り上がり変形を求めた結果を示す。曲線④では、その値をFEM解析で求め、曲線⑤では腰壁とはりの収縮歪の差によって生じる断面曲率が部材長に沿って一様に分布するものと仮定した。曲線④と⑤には大きな違いは見られない。

曲線④と⑤で求めた部材先端の反り上がり変形には、乾燥収縮の影響だけが考慮されているが、はり下端部分のコンクリートは、乾燥収縮だけでなく、曲げ応力による圧縮クリープの影響も同時にうけているので、その影響を考慮して、反り上がり変形を修正する必要がある。

図15に示した実測クリープ係数をはり下端全長にわたって適用し、曲線⑤を修正した反り上がり量を剛体回転たわみ（曲線②）から差し引くと曲線③が得られる。曲線③は、自由収縮歪等の実測データを基にして推定したはり先端のたわみである。曲線③は、A試験体では実測たわみと比較的良好な対応を示している。B試験体では、乾燥収縮による反り上がり量をやや過大評価しすぎているが、材令の増加に伴ってたわみが減少傾向にある実測結果を定性的に裏付けている。

## 6. 結び

実大スケールの腰壁付きはりについて、約8ヶ月にわたる収縮特性等の実測を行い、

- 1) 自由収縮歪に及ぼす寸法効果の影響は、既往の研究成果より大きくあらわれたこと、
  - 2) クリープによる歪の経日変化は、既往の研究成果とほぼ同等であったこと、
  - 3) 実構造物のたわみとはり性状を異にするが、腰壁付きはり試験体のたわみの経日変化には、腰壁とはりの乾燥収縮歪の違いによって生ずる反り変形成分が含まれていること、
- 等が指摘でき、さらに、構造目地部のひび割れ性状に関する有益な資料が得られた。

<謝辞>

本研究を進めるにあたり有益な御助言と御協力を頂きました、草場基成（草場建築構造計画）山口育雄（竹中工務店技術研究所）、小川徹（竹中工務店九州支店）の各氏に深く感謝します。

<参考文献>

- [1] 大久保全陸、塩屋晋一、波多江英治、朝長 孝：構造目地を有するRC腰壁付きはり・柱十字型試験体の水平加力実験、日本建築学会大会学術講演梗概集、構造Ⅱ、p.p.79 - 86, 1986.
- [2] 佐藤彰芳、平石久広、川島俊一、寺川 鏡：鉄筋コンクリート造腰壁付きはり・柱接合部に設けたスリットの効果に関する研究、日本建築学会大会、構造Ⅱ、p.p.87 - 88, 1986.
- [3] Meyers, B.L., Branson, D.E. : Design Aid for Predicting Creep and Shrinkage Properties of Concrete, ACI Journal, Sept. 1972, p.p.551 - 555.
- [4] 「コンクリートの乾燥収縮」：建築雑誌、Vol.94, No.1150, p.p.53 - 58, 1979.
- [5] Building Code Requirements for Reinforced Concrete, ACI 318-77, p.30.
- [6] 日本建築学会：プレストレストコンクリート設計施工規準・同解説、p.p.119-131, 1975.

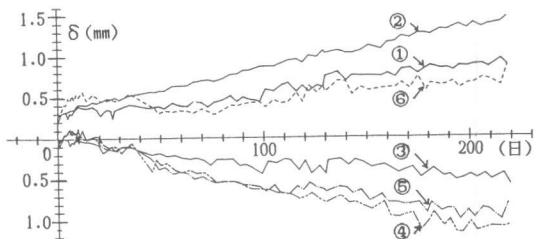


図16 A試験体のたわみの経日変化の分析

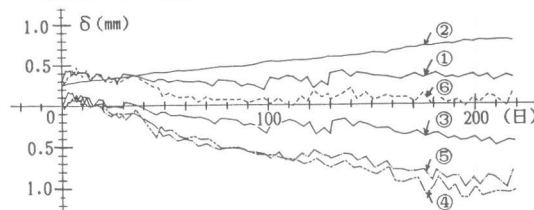


図17 B試験体のたわみの経日変化の分析