

論文

[2034] 乾燥収縮を受けた CPC はりの曲げ性状

正会員 ○ 辻 幸和(群馬大学建設工学科)
 正会員 吉田 誠(鹿島建設関東支店)
 正会員 梅津嘉忠(群馬大学大学院)
 正会員 中島規道(三井建設技術研究所)

1. まえがき

膨張コンクリートを用いたケミカルプレストレストコンクリートはり(以下、CPCはりと呼ぶ)が、曲げモーメントを受ける場合、引張鉄筋のひずみは、初期に導入されたひずみ(以下、ケミカルプレストレインと呼ぶ)に相当する量だけ、その増加量が小さくなる。そのため、曲げひびわれ幅も小さくなる。また、コンクリートに導入されたケミカルプレストレスによって、曲げひびわれ発生荷重を増加させることができる。乾燥収縮を受けた場合のこれらの効果については、これまでもいくつかの実験結果が報告されているが[1]~[4]、要因および水準が少ないと考えられる。

本研究では、膨張材の種類と使用量ならびに乾燥期間を変化させたCPCはりの曲げ強度試験結果から、引張鉄筋に生じたケミカルプレストレインと引張鉄筋のひずみおよび曲げひびわれ幅の減少効果とについて主として検討を行うものである。

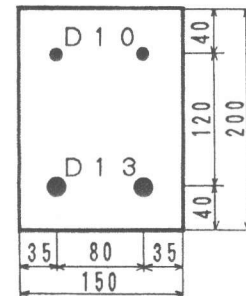
2. 実験概要

供試体の断面の形状寸法を図-1に示す。幅が15cm、高さが20cmの矩形断面で、長さが120cmである。引張鉄筋としてD13を2本、有効高さが16cmの位置に、圧縮鉄筋としてはD10を2本、圧縮縁より4cmの位置にそれぞれ配置した。

鉄筋の機械的性質を表-1に示す。

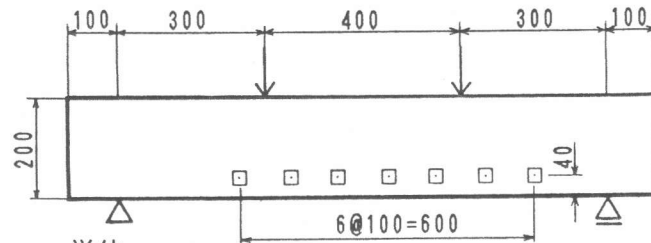
配合は、水結合材比が40%、単位水量が174kg/m³、細骨材比が40%、スランプが8cmを基準とし、単位膨張材量を表-2に示すように、0kg/m³、30kg/m³、55kg/m³に変化させた。

セメントは普通ポルトランドセメントを、膨張材はエトリンガイト系



単位: mm

図-1 供試体の断面形状



単位: mm

図-2 荷重方法

表-1 鉄筋の機械的性質

| 鉄筋 | 種類 | 降伏点 (kgf/mm ²) | 引張強さ (kgf/mm ²) | 伸び (%) |
|------|-----|-------------------------------|--------------------------------|-----------|
| 引張鉄筋 | D13 | 39.7 | 58.0 | 25 |
| 圧縮鉄筋 | D10 | 37.5 | 43.0 | 25 |

表-2 配合の種類

| 供試体 | 膨張材の種類 | 単位膨張材量 (kg/m ³) |
|-----|----------|--------------------------------|
| A | - | 0 |
| B | 石灰系 | 30 |
| C | | 55 |
| D | エトリンガイト系 | 30 |
| E | | 55 |

のものと石灰系のものの2種類を用いた。また、細骨材と粗骨材はともに渡良瀬川産のものを用い、それぞれ比重が、2.61と2.63、吸水率が2.81%と1.23%、粗粒率が2.55と6.79、最大寸法は15mmであった。

養生は、材令14日まで水中養生とし、その後材令28日まで湿布養生を行った。さらに、乾燥収縮性状を測定する供試体については、 $20 \pm 2^\circ\text{C}$ 、 $60 \pm 5\% \text{RH}$ の恒温恒湿室内で放置し、乾燥期間1カ月後、3カ月後および1年後に、それぞれ曲げ強度試験を行った。また、打込みから載荷までの期間において、JIS A6202に規定されるA法一軸拘束器具および供試体中の鉄筋のひずみの測定も同時に行った。

曲げ強度試験においては、等曲げモーメント区間を40cm、引張側スパンを100cmの2点集中載荷とし、引張鉄筋および圧縮鉄筋のひずみ、コンクリートの引張縁および圧縮縁のひずみ、供試体側面の引張鉄筋位置における曲げひびわれ幅について、それぞれ測定した(図-2参照)。

3. 解析方法

鉄筋に生じるケミカルプレストレインの推定には、A法一軸拘束器具のひずみにより「単位体積あたりの膨張コンクリートが拘束体である鉄筋に対してなす仕事量は、拘束の程度にかかわらず一定となる。」という仕事量の概念を適用した。そして、膨張ひずみの断面内における直線分布を仮定して、積層モデルによる繰り返し計算により求めた。CPCはりの曲げ性状については、ケミカルプレストレインを初期値として与えた後、同じく積層モデルにより解析を行った[5][6]。

4. 膨張・収縮性状

膨張ひずみの経時変化を図-3に示す。膨張コンクリートの膨張の発現は、材令3日までに全膨張量の約70%に達し、材令14日以降の湿潤養生の間は、収縮せずほぼ一定のひずみを保っている。材令28日から恒温恒湿室で乾燥させると、いずれの供試体においても収縮し、材令28日からの収縮量は乾燥期間1カ月において約 200×10^{-6} 、乾燥期間3カ月において約 300×10^{-6} 、乾燥期間1年において約 400×10^{-6} となった。また、石灰系の方がエトリンガイト系よりも膨張ひずみは大きくなったが、収縮における差はほとんど認められなかった。

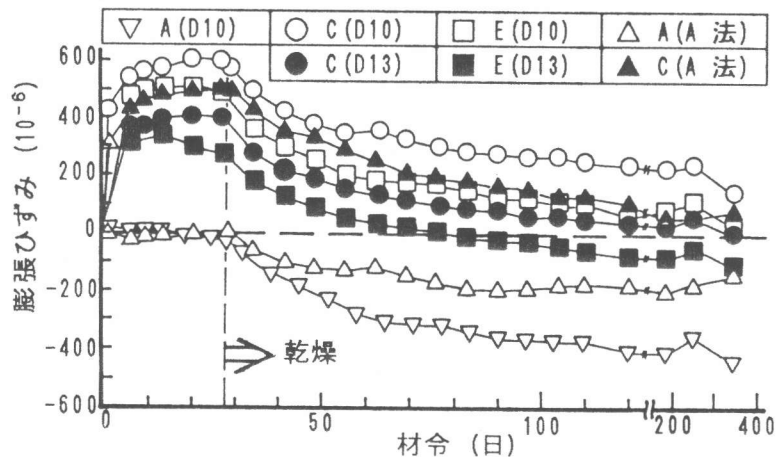


図-3 膨張ひずみの経時変化

図-4は、はり断面内高さ方向の膨張分布を示したものである。供試体Aならびに単位膨張材量が 30 kg/m^3 の供試体Bおよび供試体Dは、乾燥1カ月で、膨張ひずみは残存していない。単位膨張材量が 55 kg/m^3 の供試体Cおよび供試体Eは、乾燥後3カ月においては膨張ひずみが残っているが、乾燥後1年においては、引張鉄筋は収縮側に移行してしまった。圧縮鉄筋は、引張鉄筋よりも鉄筋断面積が小さいため、膨張ひずみは大きくなる。しかしながら、圧縮鉄筋は乾燥収縮量も大きくなるため、乾燥によるひずみ変化が著しくなる。また、乾燥収縮を受けると実測

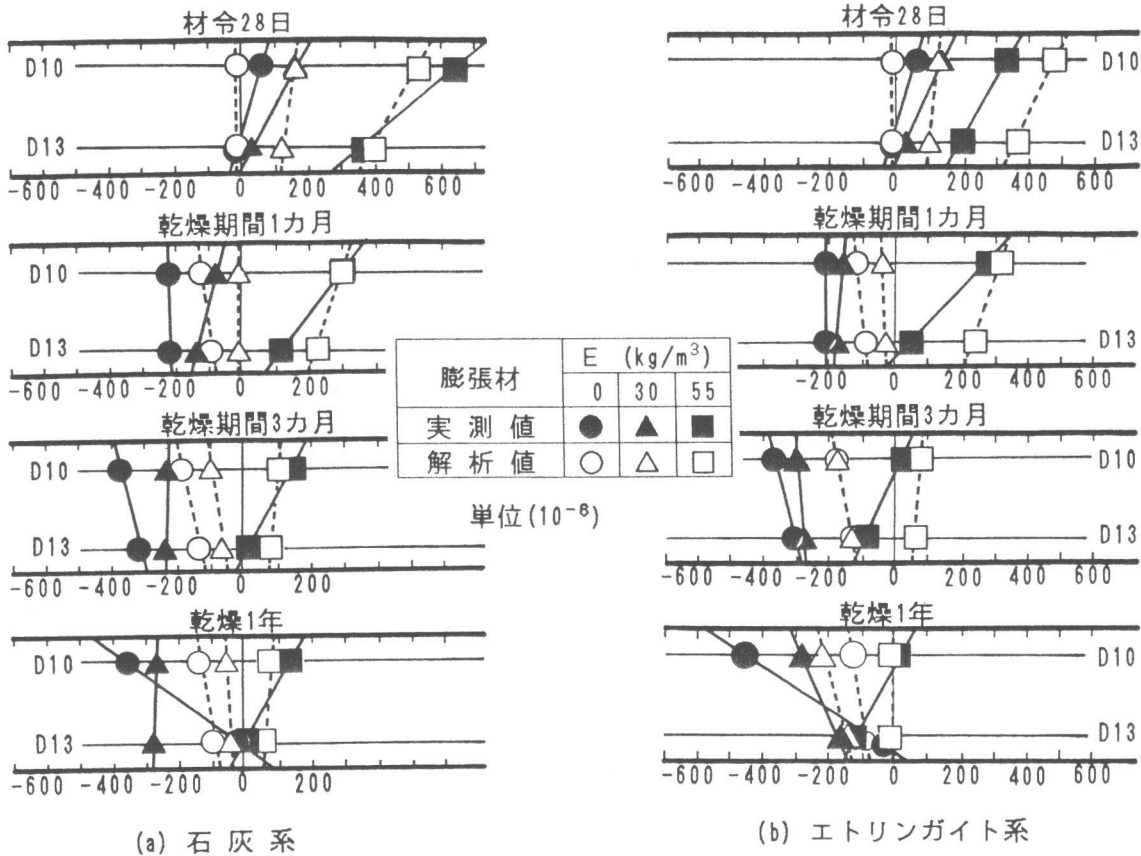


図-4 断面内の膨張分布

値と解析値には差がみられる。その差は、乾燥が進むほど顕著になり、解析値は実測値より小さくなっている。推定に用いたA法一軸拘束器具がコンクリートの収縮量を十分に拘束できなかったためである。

5. シリンダー圧縮強度

乾燥期間とシリンダー圧縮強度の関係を図-5に示す。なお、はり供試体やA法一軸拘束器具と同様、シリンダー供試体についても、材令1日において脱型した。図-5より、材令28日から乾燥すると、1カ月から3カ月の間では、圧縮強度は増加するが、その後乾燥が継続すると、圧縮強度が減少する傾向を示している。しかしながら、1ヶ月乾燥しても、材令28日の

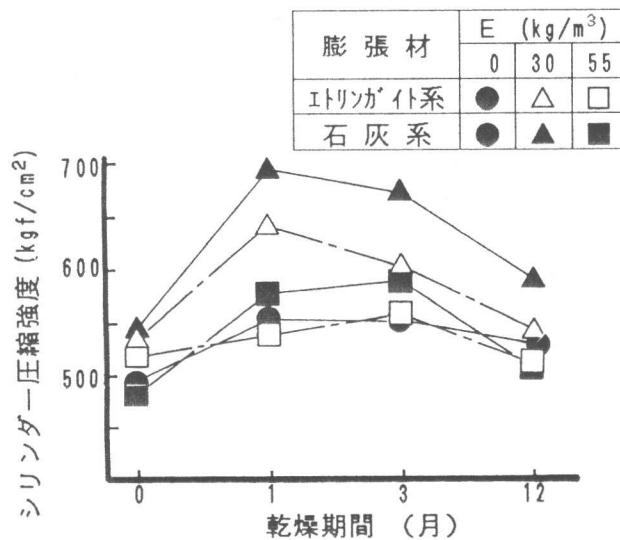


図-5 シリンダー圧縮強度

圧縮強度を下回ることにはなかった。また、材令28日から乾燥1カ月までの強度の増加は、いずれの膨張材においても、単位膨張材量が30 kg/m³のものが大きくなった。

6. 曲げひびわれ発生モーメント

引張縁のひずみゲージから判定した曲げひびわれ発生モーメントを図-6に示す。CPCはりのひびわれ発生モーメントは、コンクリートに導入されたケミカルプレストレスによって、膨張材無混入のものよりも大きくできることが、1年間乾燥させたはりについても確認できた。

7. 外力モーメントと引張鉄筋のひずみの関係

外力モーメントと引張鉄筋のひずみの関係を図-7に示す。乾燥期間を長くとると、同一の曲げモーメントに対する引張鉄筋のひずみが大きくなる(図-7(a)参照)。乾燥収縮によりRCはりの曲げひびわれ幅が大きくなることを示す一例である。乾燥期間が長い場合、ひびわれ発生後、引張鉄筋のひずみが急激に増加する挙動がみられたが(図-7(b)参照)、これは、乾燥を受け収縮していた鉄筋が、ひびわれ発生時に解放されたために生ずる現象であると思われる。この解放ひずみによる引張鉄筋のひずみの増加により、実測値は解析値より大きくなったが、これらの挙動に対しては、解析を基準とした乾燥収縮量を含め、今後検討を進める予定である。

図-8は、曲げ引張破壊モーメントの解析値の約50%である外力モーメントが1.0tf・m時における引張鉄筋のひずみを、各供試体ごとに比較したものである。乾燥期間を長くすると、一般に引張鉄筋のひずみは大きくなる。膨張材の使用量の増加にともない、引張鉄筋のひずみは減少しており、1年間の乾燥を受けても膨張材を用いたことによる引張鉄筋に生じたケミカルプレストレインの効果が確かめられた。

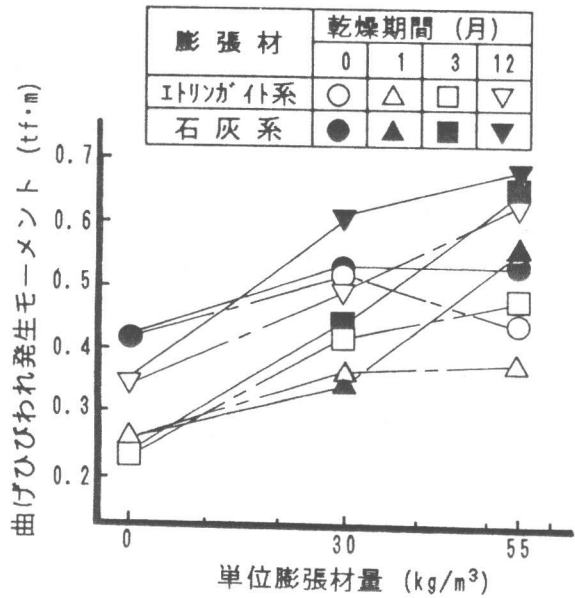


図-6 曲げひびわれ発生モーメント

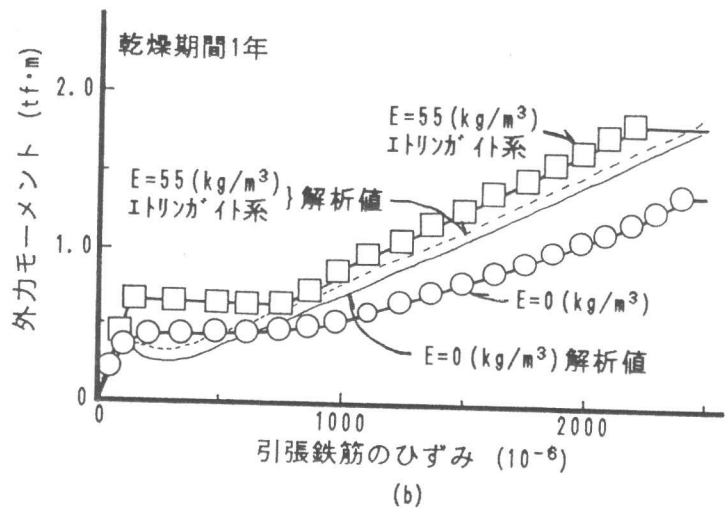
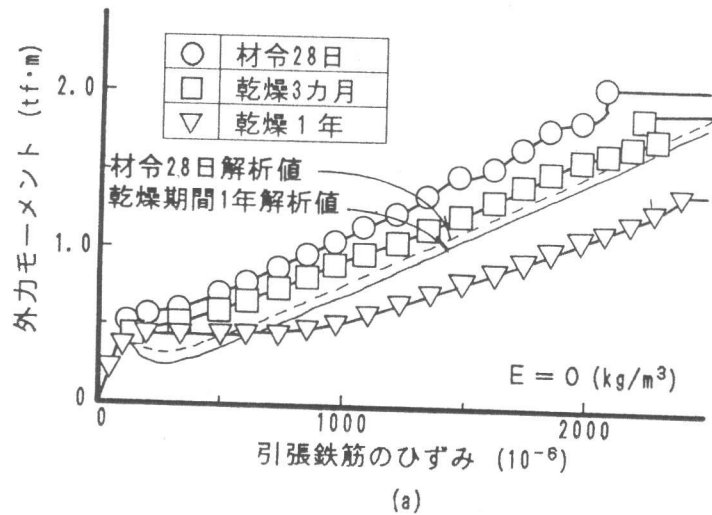


図-7 外力モーメントと引張鉄筋のひずみ

8. 曲げひびわれ幅

外力モーメントが $1.0\text{tf}\cdot\text{m}$ 時における最大曲げひびわれ幅を図-9に示す。乾燥を受けたことによるはりの最大曲げひびわれ幅の増加は、図-8に示した引張鉄筋のひずみの増加より顕著である。また、CPCはりの曲げひびわれ幅は、膨張材無混入のRCはりに比べて大きく減少している。引張鉄筋にケミカルプレストレインを導入させたことにより、引張鉄筋のひずみの増分が減少したためである。

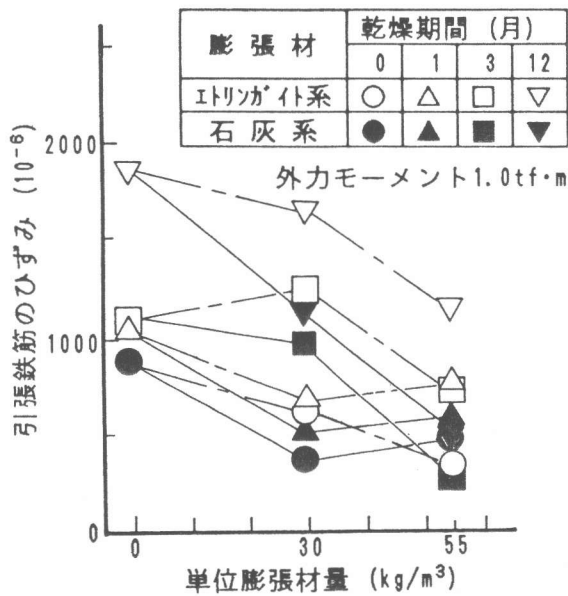


図-8 引張鉄筋のひずみ

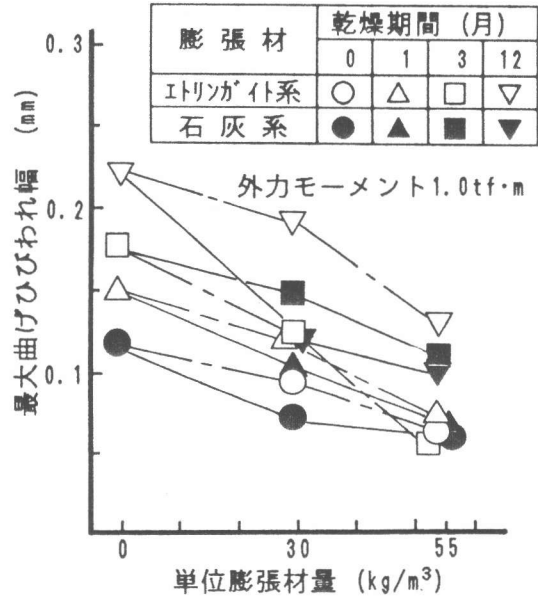


図-9 最大曲げひびわれ幅

9. 曲げひびわれ幅の制御

図-10は、外力モーメントが $1.0\text{tf}\cdot\text{m}$ における曲げひびわれ幅の実測値と計算値の関係を示したものである。横軸には、引張鉄筋のひずみの実測値から土木学会コンクリートの標準示方書の曲げひびわれ幅算定式を用いて求めたひびわれ幅の計算値を示してある。実測値と計算値には、ケミカルプレストレインの有無にかかわらず、直線関係が認められる。したがって、曲げひびわれ幅の許容値が与えられた場合、曲げひびわれ幅の算定式を使い、引張鉄筋にその量に対応するケミカルプレストレインを導入すればよいことがわかる。

ばらつきはあるが、計算値は、実測値に対して大きめの値を示している。この傾向は、乾燥期間が長くなるにしたがって顕著である。曲げひびわれ間隔の実測値が、乾燥期間を長くとしたものほど小さくなったが、算定式についてはこのような考慮を行っていないためである。

10. 破壊モーメント

破壊モーメントを図-11に示す。実測値は解析値に比べ少し大きめになっているが、両者はよく対応している。ただ

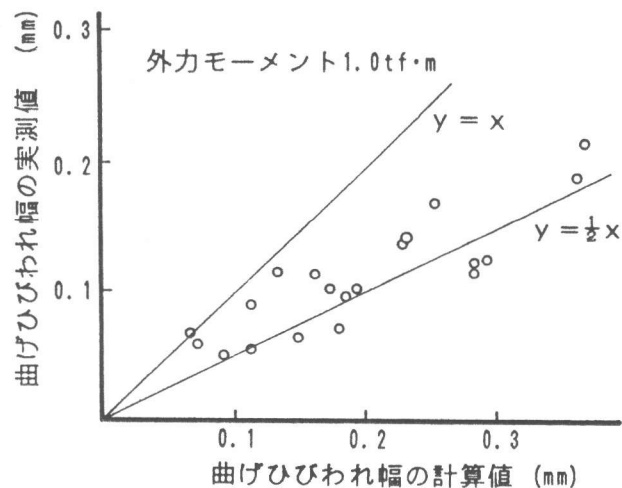


図-10 曲げひびわれ幅の実測値と計算値

し、乾燥期間が1年のRCはりについては、破壊モーメントは、約2割ほど小さくなった。乾燥期間1年のRCはりには、他のCPCはりとは比べて乾燥収縮量が著しく大きい。そのため、微細なひびわれにより斜めひびわれが発生し、破壊モーメントが低下したものである。

11. まとめ

本研究では、ケミカルプレストレスとケミカルプレストレインの効果を把握することを目的に、膨張材の種類や混入量を変えたCPCはりを1年間乾燥放置した後、曲げ強度試験を行い、その結果と曲げ解析した結果を報告した。本研究の範囲内で次のことが言えると思われる。

(1) RCはりが曲げモーメントを受ける場合、乾燥収縮により曲げひびわれ幅が大きくなるが、膨張材を混入したCPCはりでは、曲げひびわれ幅を軽減することができる。

(2) 鉄筋に生じるケミカルプレストレインは、仕事量一定の仮定に基づく推定方法によって求めることが可能である。しかしながら、乾燥収縮を生じた場合、解析値の基準となるA法一軸拘束器具がコンクリートの乾燥収縮量を十分に拘束できなかったため、解析値の精度は悪くなる。

(3) 曲げひびわれ幅の実測値と計算値には直線関係があることから、曲げひびわれ幅の許容値が与えられた場合、曲げひびわれ算定式を使い、引張鉄筋にその量に対応するケミカルプレストレインを導入すればよい。

本研究は、土木学会 高性能コンクリート研究小委員会 膨張コンクリート分科会の活動の一環として行ったものである。

参考文献

- 1) 辻幸和・丸山久一：乾燥収縮を受けたケミカルプレストレストコンクリート梁の曲げ特性：第7回コンクリート工学年次講演会論文集、pp. 33~66、1985
- 2) 豊福俊泰・西田巖・藤田栄三・寺井幸吉：鋼道路橋RC床板のひびわれと膨張コンクリートによるその改善に関する研究、コンクリート工学論文、Vol. 27、NO. 9、pp. 91~106、1989.9
- 3) 辻幸和・岡村甫：膨張コンクリートによる鋼合成桁床板の改善に関する基礎研究、コンクリート工学論文、Vol. 20、NO. 2、pp. 73~87、1982.2
- 4) 辻幸和・吉田誠・中島規道・荒川千晴：乾燥収縮を受けたケミカルプレストレストコンクリートはりの曲げ性状、土木学会第46回年次学術講演会講演概要集、第5部、pp. 686~687、1991.9
- 5) 辻幸和・岩井稔・奥泉貴朗・橋本親典：グラウトの付着性能を考慮したPRCはりの曲げ性状、コンクリート工学年次論文報告集、pp. 161~166、12-2、1990
- 6) 辻幸和・中島規道・荒川千晴：RCはりの曲げ性状に及ぼすケミカルプレストレインの効果、第45回セメント技術大会講演集、pp. 692~697、1991.5

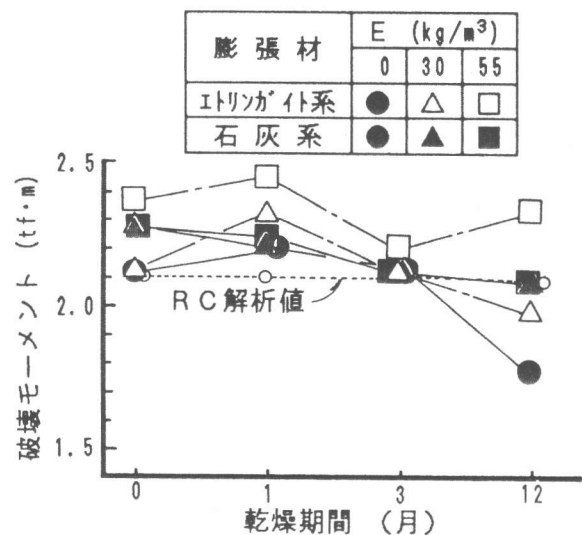


図-11 破壊モーメント