

# 論文 プレキャスト PC ホロー桁の日射による温度応力

遠藤友紀雄<sup>\*1</sup>・高井茂信<sup>\*2</sup>・森本博昭<sup>\*3</sup>・小柳 治<sup>\*4</sup>

**要旨：**ストックヤードで養生中のプレキャスト PC ホロー桁に横桁部から軸方向に進展する水平ひびわれの発生が発見された。屋外に養生中の桁には日射による伸縮と乾燥収縮が同時に発生していると考えられる。本研究はひびわれの発生メカニズムを明らかにするため、日射と乾燥収縮に起因する拘束応力を温度実測データなどを用いて解析的に検討したものである。

**キーワード：**日射、温度応力、乾燥収縮応力、PC ホロー桁

## 1. はじめに

プレキャストコンクリート部材は、一般に良好な管理の下で製作されるにもかかわらず、しばしば製作段階におけるひびわれの発生事例が報告されている。

ひびわれ発生時期は大別して、蒸気（オートクレーブ）養生およびプレストレス導入が行われる製造初期段階と、ストックヤードでの養生および出荷が行われる製造後期に分けることができる。ひびわれは、各段階で各種の原因が単独あるいは複合して発生すると考えられる。

本研究は、プレキャスト PC ホロー桁（以下ホロー桁という）について、特にストックヤードで養生中に発生するひびわれの発生機構を解析的に検討したものである。

## 2. ホロー桁養生時に発生するひびわれ

ストックヤードで養生中のホロー桁に図-1に示すような横桁部から軸方向にのびる水平ひびわれの発生が発見された。特に昨年のような記録的な猛暑の下で、ひびわれの発生が増大する傾向が認められる。このひびわれの発生原因として、①強い日射により桁を構成する上下左右の4面に発生する不均一かつ大きな温度変形、②コンクリートの乾燥収縮、及び日射による収縮進行の促進、③温度変形ならびに乾燥収縮に対する横桁の拘束などが考えられる。なお、水和熱によるコンクリートの温度上昇については、部材の寸法が比較的小いため影響は小さいと考えられる。本研究では、ホロー桁の日射による温度変形に加えて乾燥収縮に注目し、これらによる拘束応力についての検討を行った。

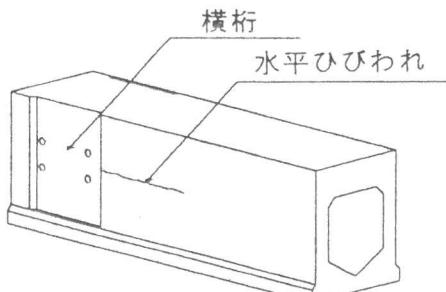


図-1 水平ひびわれ

## 3. 測定ならびに解析概要

本研究で検討対象物としたホロー桁を図-2に示す。桁は高さ75cm、幅64cmの大きさをもち最大部材厚は18mm、ま

\*<sup>1</sup>昭和コンクリート工業（株） 製造部 （正会員）

\*<sup>2</sup>岐阜大学大学院 工学研究科土木工学専攻 （正会員）

\*<sup>3</sup>岐阜大学助教授 工学部土木工学科、工博 （正会員）

\*<sup>4</sup>岐阜大学教授 工学部土木工学科、工博 （正会員）

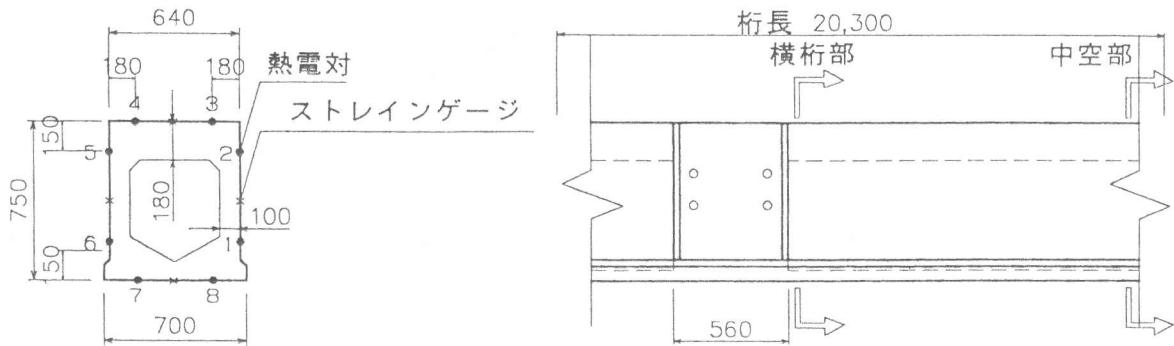


図-2 解析対象構造物及び解析断面

た最小部材厚は10cmである。コンクリートは平成6年7月18日に打設された。コンクリート配合を表-1に示す。平成6年8月初旬～中旬にかけて、ストックヤードで養生中のホロー桁について、図-2に示すような中央中空部の上面、東面、西面、下面の各面の2点において熱電対による温度計測を行った。各熱電対はエポキシ系樹脂でコンクリート表面に密着させた。また、横桁部の各面中央部のひずみも同時に計測した。ホロー桁は南北方向に設置されており、日射による温度上昇の影響は東面から西面に移行していくものと考えられた。また、測定において西側には障害物があったため午後3時以降は直射日光が当たらず、西日の影響は少ないと思われた。応力解析は桁断面について2次元FEMを用いて実施した。コンクリートの弾性係数はヤードでの養生開始時（材令1日）における測定値  $E = 2.9 \times 10^5 \text{ kgf/cm}^2$  を用いた。またクリープの影響については、解析期間が短いこと及びコンクリートの硬化が進んでいる段階を検討対象としていることなどから近似的に省略した。各有限要素の温度データは測定値を用いた。ただし、温度測定点は図-2に示すように各面2点であるので、各測定点の中間部の温度は線形補間ににより推定した。また、部材厚さ方向の温度変化については、部材が薄いことから一様分布を仮定した。解析を実施した断面は、自由な温度変形に対する外部拘束が大きく、その結果大きな温度応力が発生すると考えられる横桁部と、外部拘束作用がほとんど作用しないと考えられる中空部の2断面を取り上げた。横桁部は桁内面を完全拘束と仮定して横桁の影響を考慮した。中空部については外部拘束は作用しないと仮定して解析を実施した。乾燥収縮の影響を考慮した解析では、ほぼ同一の配合をもつコンクリートの乾燥収縮量の測定結果を参考にして  $150 \mu$  と仮定した〔1〕〔2〕。なお解析は午前6時を初期状態と考えて実施した。

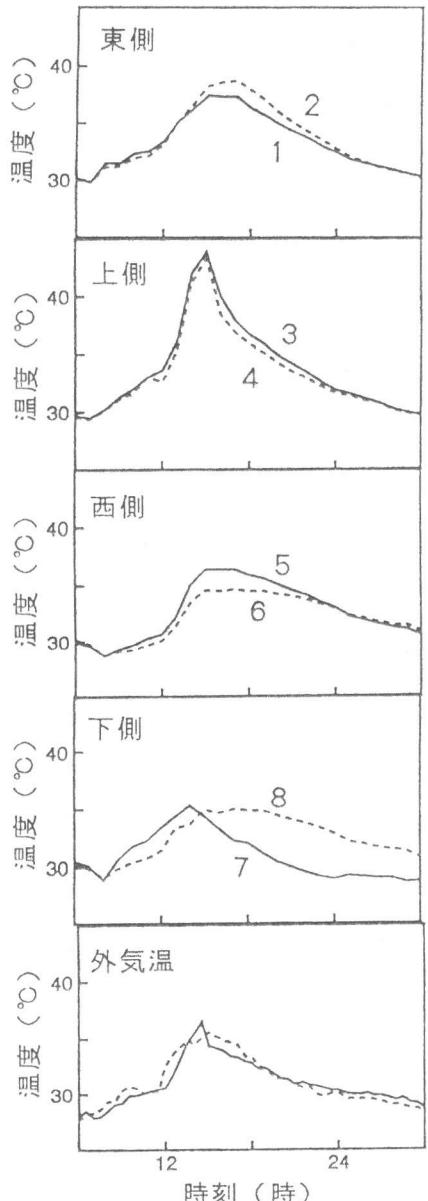


図-3 桁表面温度及び  
外気温経時変化

表-1 示方配合表

W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )					スランプ (cm)	空気量 (%)	配合強度 (kgf/cm <sup>2</sup> )
		水	セメント	細骨材	粗骨材	減水剤			
34.8	40.0	155	445	717	1098	4.45	8.0	2.0	621

#### 4. 日射による桁の温度変化

図-3に各温度測定点の温度の日変化を示す。各図から、各面の温度は午前6時頃から上昇し始め、午後1時半～2時半の間において最大となる。温度が最も高くなる面は上面で、測定期間中ピーク温度が50°C以上になる日もあった。各面のピーク温度は上面が若干早く現れるが、そのほかの面については明確な差異は確認できなかった。ただ、西面の温度上昇の立ち上がりは他の面に比べてやや遅れる傾向が認められる。また、温度の上昇、下降の変化は上面が最も大きい。

#### 5. 解析結果および考察

図-4～図-5に中空部、図-6～図-7に横桁部それぞれの主応力および変形図を、また図-8に温度応力に乾燥収縮による応力を重ね合わせた場合の横桁部の主応力図を示す。さらに、図-9に横桁部表面中央のひずみを示す。主応力図については午前8時、午後2時、変形図については午前8時から午後5時までを3時間毎に示す。主応力図は引張応力を実線、圧縮応力を点線で示す。まず図-4～図-5から中空部では、午前8時時点では上面と東面が日射により膨張し、桁断面には非対称な変形が生じる。その後、時間の経過とともに次第に変形量が増大していくが、変形形状自体は大きく変化しない。一方、応力については、午前8時、午後2時のいずれにおいても偶角部分に最大5kgf/cm<sup>2</sup>程の引張応力が発生するが、その他の部分にはひびわれの発生原因となるような大きな応力は発生していない。次に図-6～図-7から、横桁部では桁内面が拘束されているため、ほぼ左右対称な変形が生じている。一方、応力については午前8時の時点で、全般的には上面、東面では日射にともなう膨張が拘束されわずかな圧縮応力が発生する。

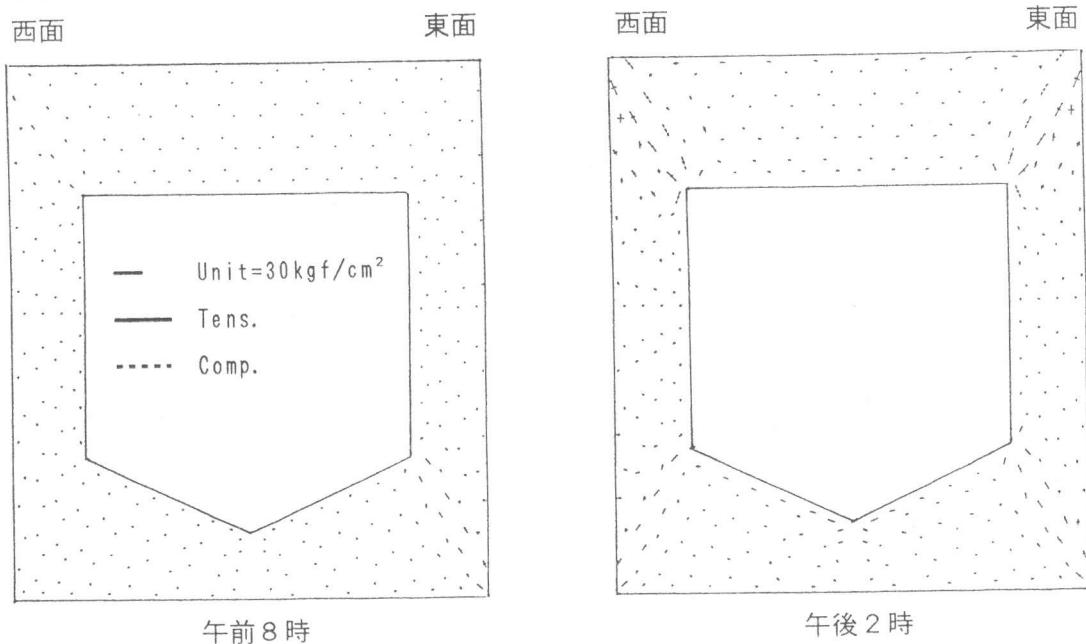


図-4 中空部の主応力図

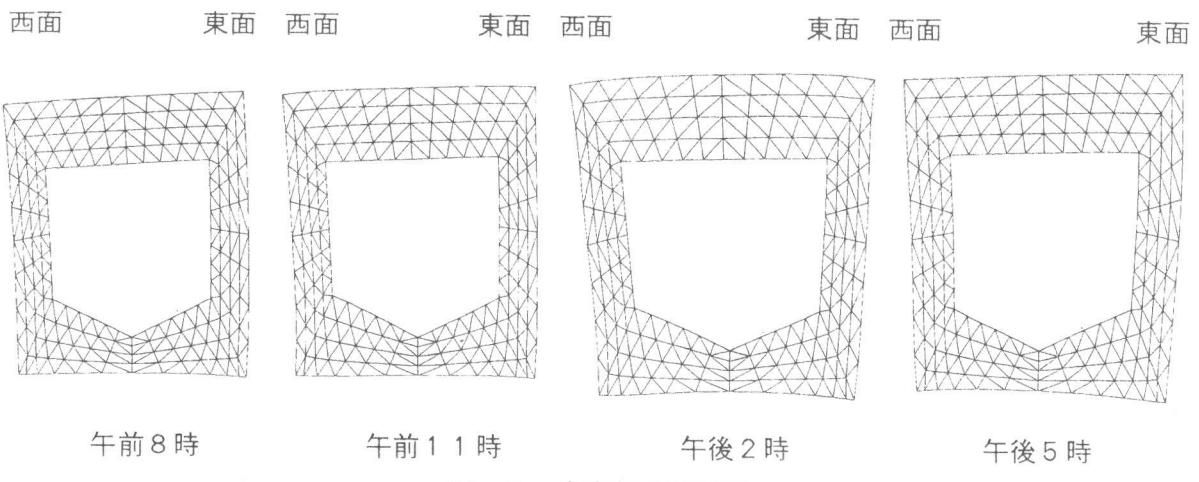


図-5 中空部の変形図

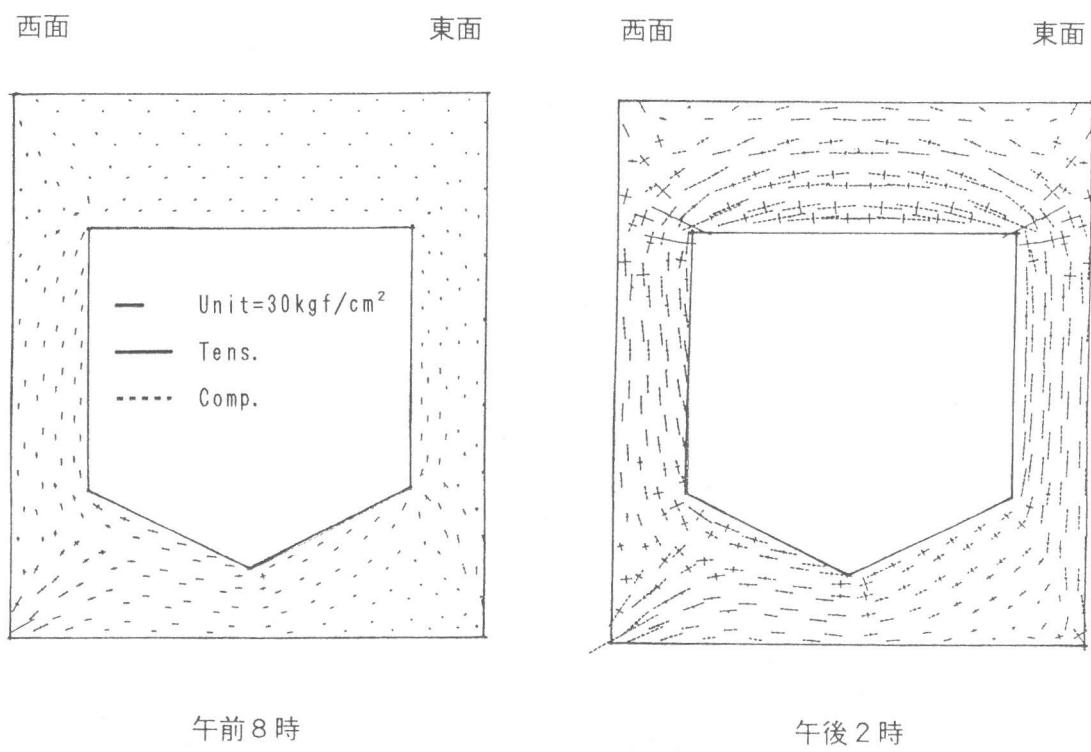


図-6 横桁部の主応力図

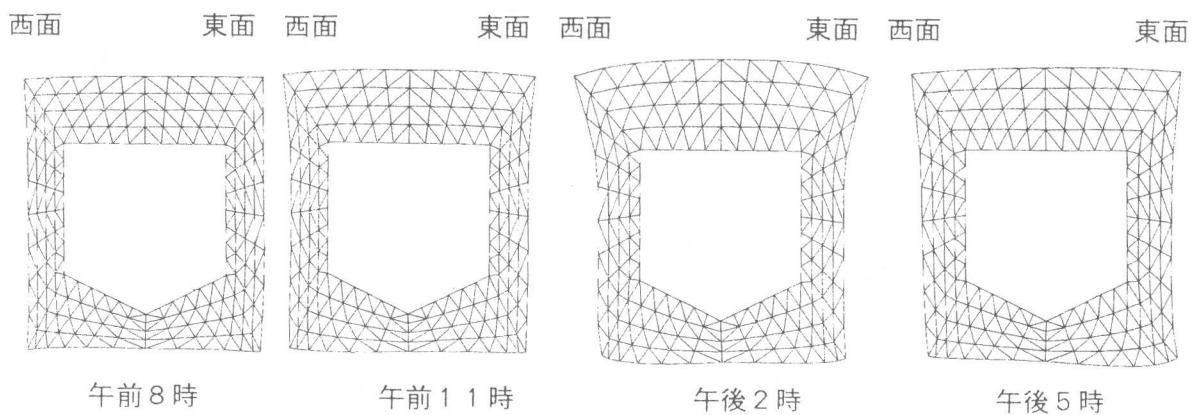


図-7 横桁部の変形図

逆に日射の影響の少ない西面、下面および偶角部で最大 $10 \text{ kgf/cm}^2$ 程度の引張応力が発生するが、全般的にはひびわれの発生原因となるような大きな応力は発生しない。午後2時の時点では全体的に圧縮応力が支配的となり、午前8時に時点で引張応力が発生していた偶角部でも $30 \text{ kgf/cm}^2$ 程度の圧縮応力が生じている。上面は下面より表面中央で4割程度大きな圧縮応力が発生しており、これは日射の影響であると考えられる。表面と内面を比較すると、内面では横桁による拘束が大きいため全体的に表面よりやや大きな応力が発生している。いずれにしても、日射による温度変形に起因する拘束応力は、日射開始後初期の段階で、日射を受けない部分において引張応力が発生する。しかしその大きさは偶角部を除いて全般的に小さく、ひびわれの発生原因となる可能性は小さい。そして、正午以降は桁全体にわたり圧縮応力が支配的になることが明らかとなった。

次に図-8から、桁の各面が日射を受けると同時に、一様に $150\mu$ の乾燥収縮を起こした場合の横桁部の応力に注目すると、午前8時では各面ともに最大 $30 \text{ kgf/cm}^2$ 程度の引張応力が発生しているが、上面ではやや小さな値となっている。午後2時になると日射の影響で全般的に引張応力が減少している。これらの結果から、今回の乾燥収縮応力の解析は弾性係数の変化及びクリープの影響を省略した簡略的なものではあるが、乾燥収縮の影響により、桁の東面、西面および下面で最大 $30 \text{ kgf/cm}^2$ 程度の引張応力が発生する。従って、これがひびわれの原因となり得ることが十分考えられる。ただし、桁の収縮の原因として乾燥収縮の他に自己収縮なども考えられ、桁の打設以降の収縮挙動についてさらに詳細な検討が必要である。なお、桁上面は日射の影響で引張応力は減少する傾向が認められた。以上の結果から、今回対象としたような比較的小断面の桁では、日射により過大な引張応力発生の可能性は低く、問題のひびわれは乾燥収縮などコンクリートの収縮による引張応力が主原因であると推測される。また、猛暑の下でひびわれが多発する原因については、高い気温により乾燥収縮が促進されたことも考えられる。

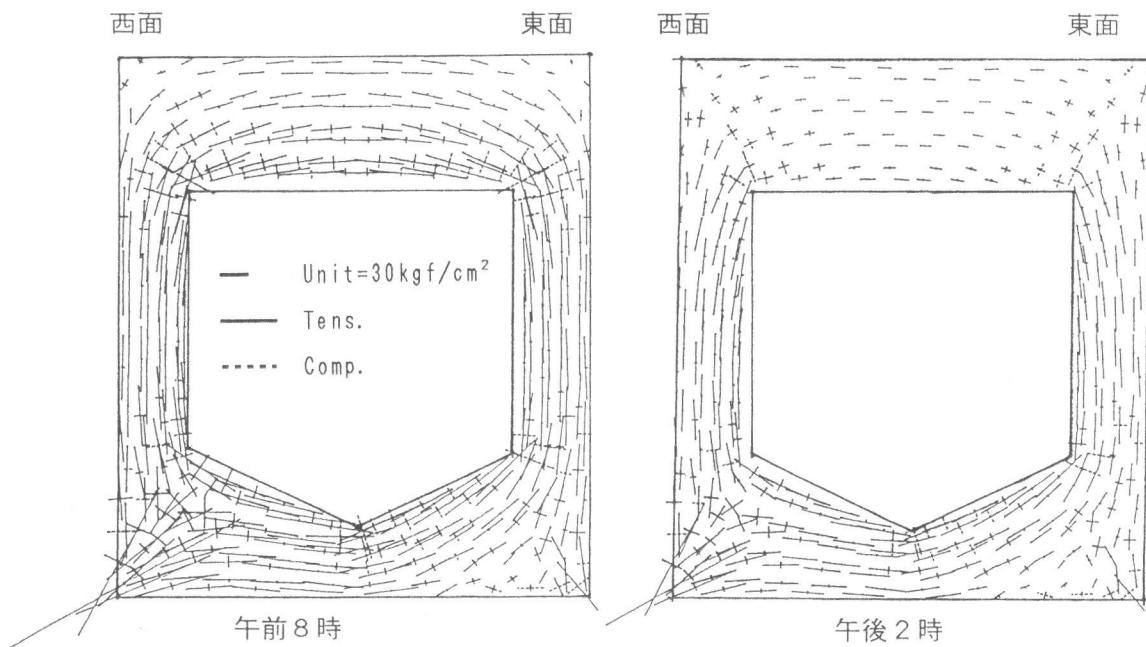


図-8 乾燥収縮を考慮した場合の横桁部の主応力図

最後に図-9から、横桁部桁表面のひずみ変化は各面の温度が最大となる午後2時頃を境にして圧縮から引張へと移行することがわかる。ひずみの実測データと計算値との対応は良好である。

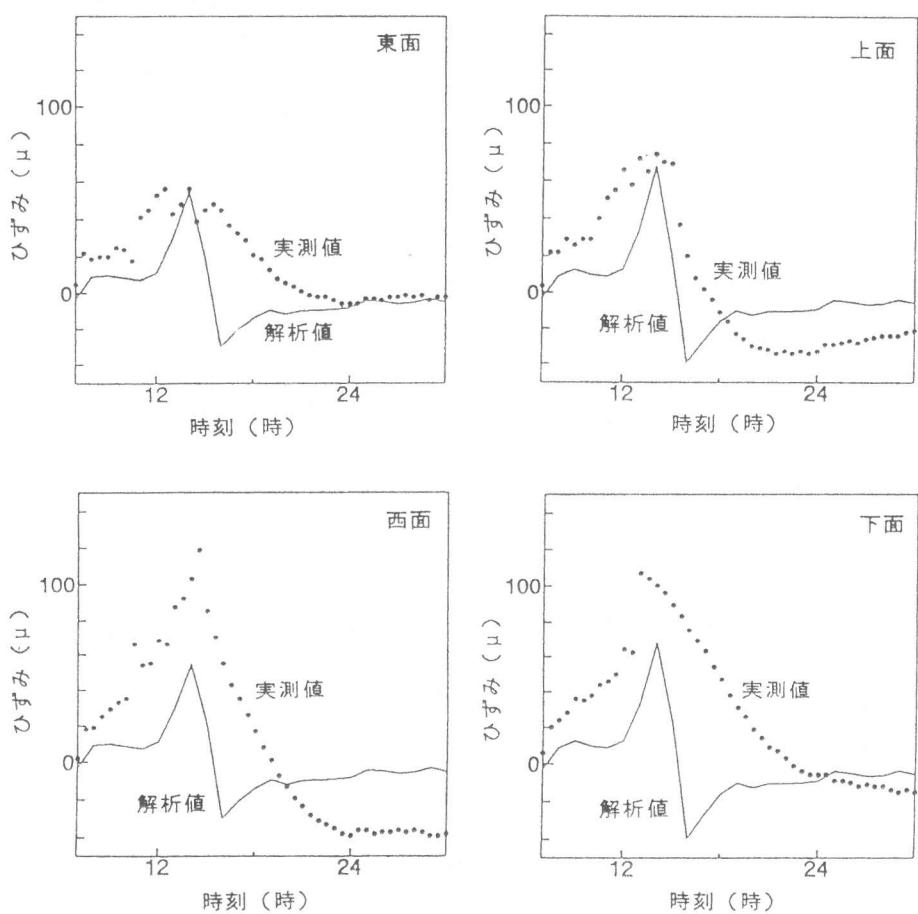


図-9 横横部表面のひずみ変化

## 6. まとめ

本研究ではホロー桁を対象として、日射と乾燥収縮による拘束応力を解析的に検討した。本研究で得られた結果をまとめると次のようになる。

- ①日射による温度変形に起因する拘束応力は、日射開始後初期の段階で日射を受けない部分において引張応力が発生する。しかし、その大きさは偶角部を除いて全般的に小さく、ひびわれの発生原因となる可能性は小さい。
- ②乾燥収縮などにより、横横付近には水平ひびわれの発生原因となり得るような引張応力が発生する危険性がある。
- ③今回対象とした程度の比較的小断面の桁では、日射のみによりひびわれの原因となるような引張応力発生の可能性は小さく、むしろ乾燥収縮などコンクリートの収縮が水平ひびわれの主原因であると推測される。また、猛暑の下でひびわれが多発する原因については、高温により乾燥収縮が促進されたことも考えられる。

## 参考文献

- 1) 時川忠・宮功・西河研介：各種セメントを用いたコンクリートの強度性状、第43回セメント技術大会講演集、技術資料〔71〕、pp. 410～415、1989
- 2) 岡本英明・渡辺夏也・西河研介：各種セメントを用いたコンクリートの諸特性、第43回セメント技術大会講演集、技術資料〔72〕、pp. 416～421、1989