

V-195 マスコンクリートにおける線膨張係数の時間依存性について

五洋建設（株）技術研究所 正員 ○井上 元
 五洋建設（株）技術研究所 正員 内藤 英晴
 五洋建設（株）技術研究所 正員 小堀 光憲

1. まえがき

マスコンクリートの温度応力を推定するに際し、一般にコンクリートの線膨張係数として一定値をとることが多い。しかし、初期硬化過程においてはコンクリート中に未水和状態の水分子が残留し、セメントおよび骨材などと比較して線膨張係数の大きい水の影響により、コンクリートの線膨張係数は硬化後の値に比べて大きくなると考えられる。^{1) 2)}

本報告は、実構造物を用いた実験により、コンクリートの線膨張係数の時間依存性について調査した結果について、述べるものである。さらに、コンクリート中に埋め込まれたひずみ計とその近傍のコンクリートとの拘束関係を表現するモデルを用いて、実験より得られた線膨張係数の妥当性を明らかにするとともに、温度応力の推定にあたり線膨張係数の時間依存性を考慮した解析の必要性を示した。

2. 実験概要

実験の対象とした構造物は、図-1の断面を有するスパン10mの一層ボックスカルバートである。スパン中央断面の側壁中段部においては、埋込み型ひずみ計と併せて無応力計を設置することにより、断面直角方向のコンクリートひずみに加えて、無拘束状態での温度変化に伴う自由膨張ひずみも測定した。

なお、無応力計は、無応力容器中に埋込み型ひずみ計を取り付けたもので、外力によるひずみ変化を取り除くことができる構造となっている。

3. 実験結果および考察

3.1 コンクリートの線膨張係数

時刻 t におけるコンクリートの有効ひずみ増分は、式(1)、(2)を用いて表すことができる。

$$\Delta \varepsilon_{ef}(t) = \Delta \varepsilon_m(t) - \Delta \varepsilon_t(t) = \Delta \varepsilon_e(t) + \Delta \varepsilon_{cr}(t) \quad (1)$$

ここに、 $\Delta \varepsilon_{ef}(t)$: 有効ひずみ増分

$\Delta \varepsilon_m(t)$: 実測ひずみ増分

$\Delta \varepsilon_t(t)$: 温度変化に伴う自由膨張ひずみ増分

$\Delta \varepsilon_e(t)$: 弾性ひずみ増分

$\Delta \varepsilon_{cr}(t)$: クリープひずみ増分

$$\Delta \varepsilon_t(t) = \alpha(t) \cdot \Delta T(t) \quad (2)$$

ここに、 $\alpha(t)$: 線膨張係数、 $\Delta T(t)$: 温度増分、である。

側壁中段部に設置した無応力計内のひずみ計は、既存構造物（地盤も含む）による拘束からは解放されるため、式(1)中の $\Delta \varepsilon_e(t)$ および $\Delta \varepsilon_{cr}(t)$ は 0 となり、実測ひずみ $\Delta \varepsilon_m(t)$ は温度変化に伴う自動膨張ひずみ $\Delta \varepsilon_t(t)$ と一致することになる。そこで式(2)を用いて、コンクリートの線膨張係数の経時変化を求めることができ、得られた結果を図-2に示す。

水の体膨張係数 γ は約 $200 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ であり、等方性と考えるとその線膨張係数は $\gamma/3 \approx 7.0 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ となり、通常のコンクリートに対する設計用値の $10 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ に比べるとはるかに大きいものである。したがって、初期硬化過程においてはコンクリート中に未水和状態で残る水分の影響を大きく受けるために、

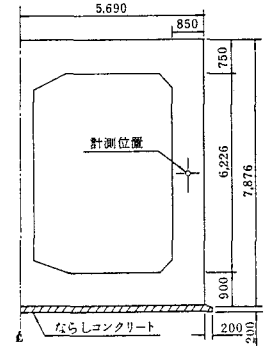


図-1 カルバート断面図

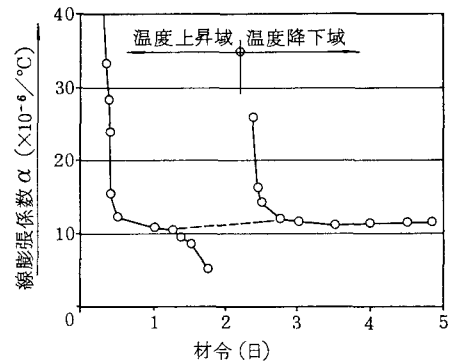


図-2 コンクリートの線膨張係数

図-2に示すようにコンクリートの線膨張係数もかなり大きくなる。しかし、硬化が進行するにつれその値も急減し、一定値に収れんする。コンクリートの弾性係数がひずみ計の見かけの弾性係数より大きく卓越している温度下降域では、ひずみ計はコンクリートの変形に追従し、ひずみ計は真のコンクリートひずみを測定することができる。一方、ごく若材令ではコンクリートの弾性係数は極めて小さく、ひずみ計近傍の局所的な領域においてコンクリートの膨張がひずみ計により大きく拘束されていることが考えられる。その結果、ひずみ計の出力値から得られる自由膨張ひずみおよび線膨張係数は定量的には正確に評価されていないことに留意する必要がある。

3.2 コンクリートの有効ひずみ

図-2に示した線膨張係数 $\alpha(t)$ を用いて、式(1)、(2)より側壁中央部におけるコンクリートの有効ひずみを算出することができる。しかし、コンクリートの弾性係数が小さいごく若材令時においては、コンクリートとひずみ計の線膨張係数の差異に起因する有効ひずみの発生が予測される。一方、ひずみ計の自由膨張はコンクリートにより拘束されることになる。そこで、この拘束によりひずみ計に生じるひずみをひずみ計の有効ひずみと定義し、コンクリートとひずみ計に生じる有効ひずみの関係について検討を行った。なお、ひずみ計の有効ひずみは、式(1)、(2)において線膨張係数を $1.7 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ として求めることができる。図-3には、コンクリートおよびひずみ計の有効ひずみについての実測結果を示す。コンクリートの有効ひずみを表す曲線の勾配により、材令を表-2に示すA～Dの4区間に分類した。図-3中には、3つの因子（ α/β 、拘束状態、温度勾配）についての各区間における状況も併せて示している。

これらの状況を考えた結果、図-4に示すモデルを用いると若材令におけるひずみ計近傍でのコンクリートとひずみ計の有効ひずみ発生メカニズムを表現することができる。すなわち本モデルは、温度変化に伴いコンクリートとひずみ計は自由膨張しようとするが、両者間および既存構造からの拘束により、ひずみ計には弾性変形が、そしてコンクリートには弾性変形とクリープ変形とが生じることにより、両者間でひずみの適合性が満たされるという考えに基づくものである。

4. 結論

初期硬化過程におけるコンクリートの線膨張係数は、コンクリート中に未水和状態で残留する水分の影響を受け、材令と共に大きく変化すると考えられる。そこで、線膨張係数の時間依存性を考慮に入れたモデルを導入すると、若材令時におけるひずみ計とコンクリートの拘束関係、さらには有効ひずみの発生メカニズムを定性的に表現することができ、これにより若材令時において線膨張係数が材令と共に変化するという考えの妥当性が示された。したがって、マスコンクリートの温度応力をより精度良く推定するに際しては、コンクリートの線膨張係数の時間依存性を考慮に入れた解析手法を用いることが必要であろう。

（参考文献）

- 1) 山川他：“コンクリートの熱膨張係数に関する一考察”，第8回コンクリート工学年次講演会論文集，pp. 313～316，1986
- 2) 竹下他：“マスコンクリート中の計器特性について”，第2回マスコンクリートの温度応力発生メカニズムに関するコロキウム論文集，pp. 1～8，1984

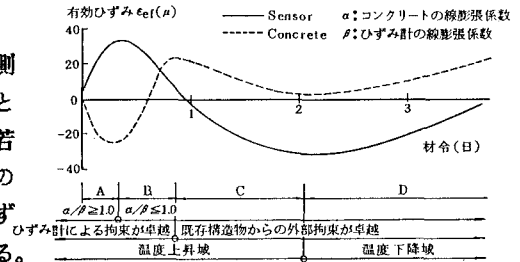


図-3 有効ひずみの経時変化

表-2 各区間における有効ひずみ増分

区 間	A	B	C	D
コンクリートの有効ひずみ増分	／	／	／	／
ひずみ計の有効ひずみ増分	／	／	／	／

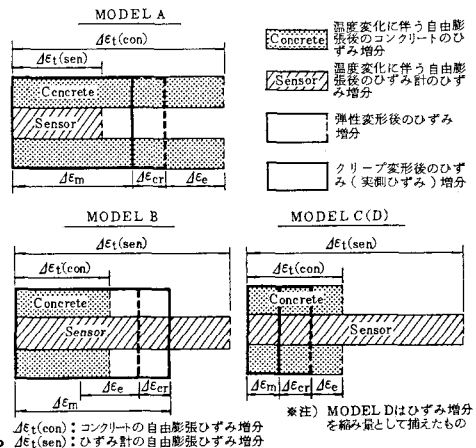


図-4 有効ひずみ発生モデル