

ケーソン構造物での温度応力に起因する水平ひび割れの考察

○ 若築建設(株) 技術研究所 正会員 壹岐直之
国土交通省 四国地方整備局今治港事務所長 安井征人
若築建設(株) 技術本部設計部 秋本 孝

1. まえがき

本構造物は図-1に示すような、防波堤用スリットケーソンである。マスコンクリートに該当し、海洋上に設置されるため温度ひび割れの発生を防止する必要があった。通常、ケーソンのような壁状構造物での温度ひび割れは鉛直方向に発生することが多い。しかし、事前に行った温度応力解析の結果、本構造物では鉛直方向の応力が卓越し、水平方向のひび割れが発生すると予測された。本報告では、水平方向の温度ひび割れについて、温度応力解析および現場計測の結果に基づき、発生機構を考察した。

2. 温度応力解析

当初計画では、蓋コンクリートの厚さは1.6m、中詰の厚さは2.2mであった。当初計画の状態で、ケーソンの1/4をモデル化し、3次元有限要素法による温度応力解析を行った。

解析結果を図-2に示す。蓋コンクリート打設後、蓋コンクリートの高さ方向中央のケーソン隅角部において、ひび割れ指数は最小の0.37となり、蓋コンクリート打設箇所では鉛直応力が卓越すると予測された。ひび割れ指数が最小となった断面内での鉛直応力の経時変化を図-3に示す。第3ロットの打設後、隅角部外表面(No.1)には引張強度の20%程度の鉛直応力が発生し、蓋コンクリートの打設後、鉛直応力は引張強度の264%まで増加すると予測された。なお、引張強度 f_t は、管理供試体での強度試験の結果から近似した圧縮強度を用い、標準示方書¹⁾の推定式を用いて推定したものである。

制御対策として、蓋コンクリートの厚さを30cmに変更した。対策実施後の解析結果を図-4に示す。全体の最小ひび割れ指数は第1ロットで0.9、蓋コンクリート打設箇所での最小ひび割れ指数は1.33と予測された。この断面での鉛直応力の経時変化を図-5に示す。図-3とは着目した断面は異なるが、蓋コンクリート打設までの解析条件は同じである。第3ロットの打設後、隅角部外表面(No.1)には引張強度の45%程度の鉛直応力が発生し、蓋コンクリートの打設後に鉛直応力は増加するが、引張強度の75%にとどまると予測された。

3. 現場計測

制御対策の効果の確認と、鉛直応力発生機構の把握を目的として、蓋コンクリート下面付近の断面内(第2ロット天端から50cm下)で、温度およびひずみの計測を行った。温度は熱伝対により、鉛直方向

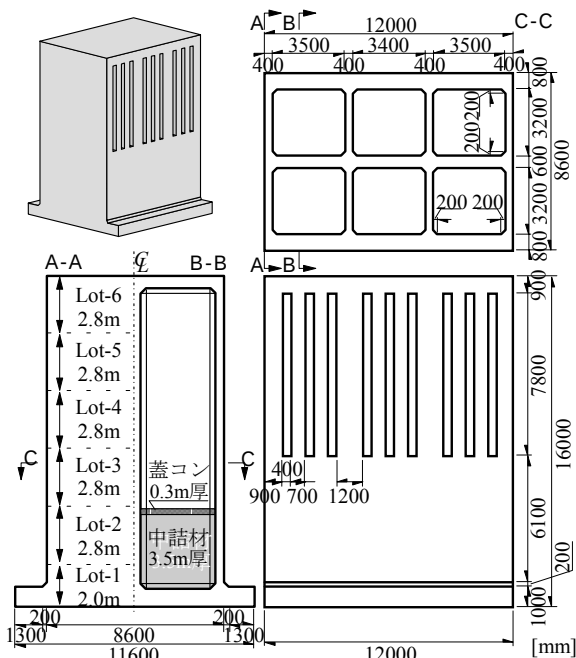


図-1 ケーソンの構造（対策後）

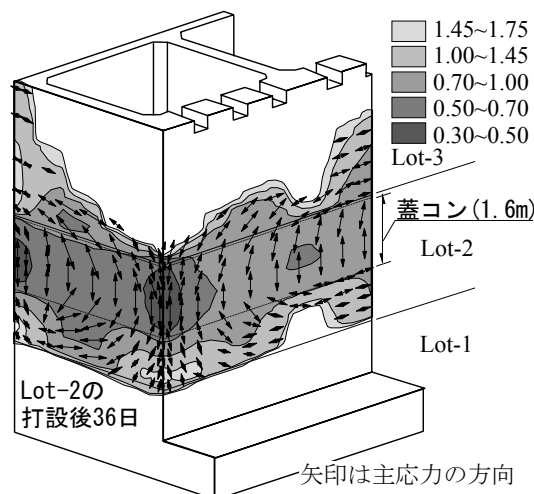


図-2 ひび割れ指数の解析結果（当初計画）

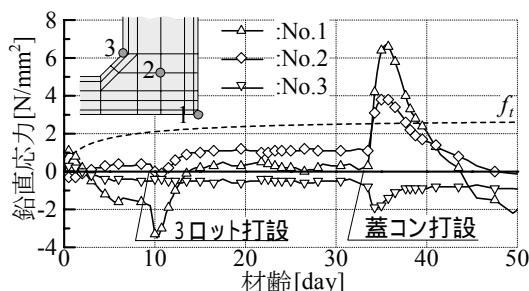


図-3 鉛直応力の解析結果（当初計画）

キーワード： マスコンクリート，温度応力，水平ひび割れ，3次元温度応力解析，現場計測

連絡先：東京都目黒区下目黒2-23-18，TEL:03-3492-0556，FAX:03-3779-7943，e-mail: ikki@wakachiku.co.jp

の全ひずみは埋込型ひずみ計により、自由ひずみは無応力容器に入れた埋込型ひずみ計により計測した。計測結果を図-6に示す。なお、有効応力は、 $(\text{全ひずみ} - \text{自由ひずみ}) \times \text{有効弾性係数}$ とし、有効弾性係数は先の圧縮強度から標準示方書¹⁾の推定式を用いて算定した。

隅角部での最高温度は、材齢0.7日に、無応力容器内で55.8℃であった。隅角外側の鉛直応力は、第3ロット打設後に圧縮側へ一旦増加したが、その後、引張側に増加し、蓋コンクリート打設までに 0.90N/mm^2 （引張強度の36%）の応力が作用していた。蓋コンクリートの打設後、引張応力はさらに増加したが、最大値は 1.23N/mm^2 （引張強度の48%）となり、最小ひび割れ指数は2.1であった。実構造物の目視観察でも水平ひび割れが発生しなかったことが確認された。蓋コンクリート厚を1.6mから0.3mへ低減することによって、水平ひび割れを防止できたと考える。また、事前解析は、計測結果と一致したことから、妥当であったと考える。

4. 水平ひび割れ発生機構の考察

通常、外部拘束による温度応力を考えるとき、底面を拘束されていないマッシュパな部材では、部材が厚いことによって曲げ剛性が大きくなることと、重力が作用していることから、鉛直応力が卓越し、その値が引張強度を上回ることとはほとんどない。

しかし、本構造物のように、壁厚が大きく、壁が筒状に組み合わさった構造の場合は、鉛直方向の応力が卓越することが判った。図-7に本構造物を例とした概念を示し、鉛直応力が発生する機構について考察する。まず、①第2ロットの硬化後に、第3、4ロットは温度低下に伴って収縮するため、この収縮が直交する壁に対して、ケーソンの内側に倒れこむ方向の曲げモーメントとして作用する。この現象は、図-6において、第3ロットの打設から2~3日後に外側の鉛直応力が引張側に増加したことで確認できる。次に、②蓋コンクリート水和熱膨張によって、第2ロットの壁を外側に押し広げる力が作用する。曲げモーメントが作用している状況に、この力が作用することによって、曲げモーメントが一部に集中し、鉛直応力が卓越したと考える。本構造物で無対策の場合は、蓋コンクリートの熱膨張が大きいことによって、引張強度以上の鉛直応力が発生すると考える。また、図-2から判るように、ケーソンの短手面のほうが長手面よりもひび割れ指数が小さい。これは、長手面の壁部材のほうが、長くかつ厚いことによって温度低下に伴う上部ロットの収縮量が大きく、蓋コンクリート打設以前において、短手面に作用する曲げモーメントが長手面よりも大きかったことが原因と考える。

5. まとめ

- (1) 蓋コンクリートを薄くすることによって、最小ひび割れ指数を0.37から0.9に向上できた。
- (2) 壁外側での鉛直応力は、上部ロットの収縮に伴う曲げによって生じると考察した。

【参考文献】 1) 【平成11年版】コンクリート標準示方書—耐久性照査型—〔施工編〕,土木学会,1999.1,pp.24~36

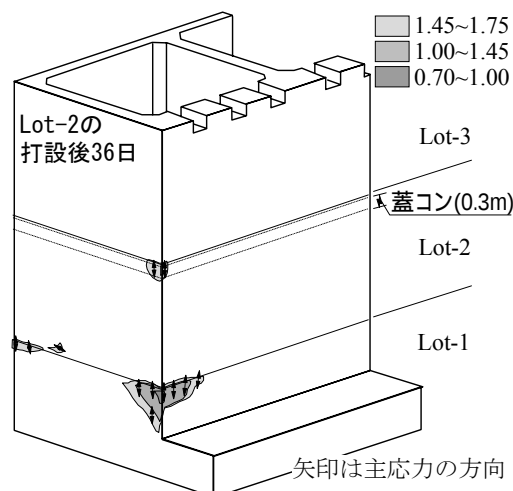


図-4 ひび割れ指数の結果（対策後）

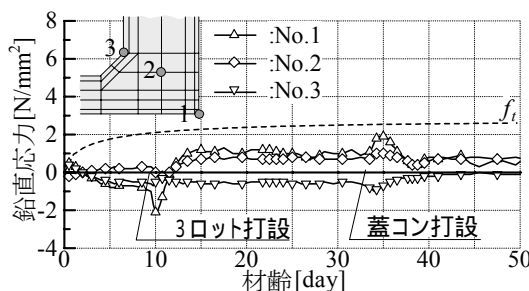


図-5 鉛直応力の解析結果（対策後）

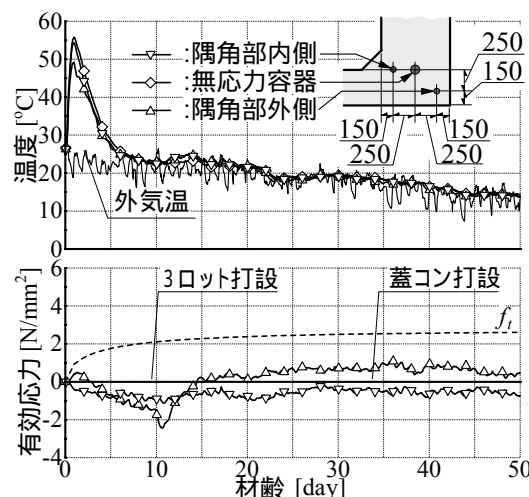


図-6 温度・鉛直応力計測結果（対策後）

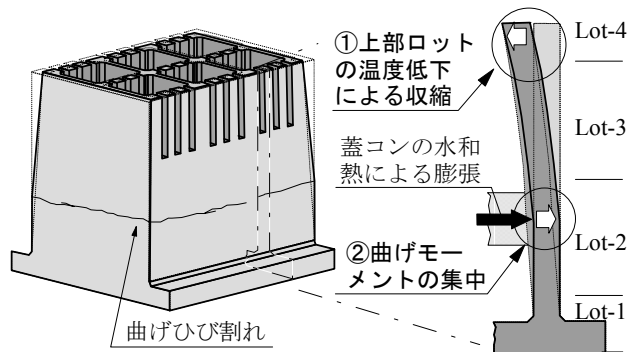


図-7 鉛直方向応力の発生機構の概念