

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 5 日現在

機関番号：11201

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24560581

研究課題名(和文)RC床版内における水平ひび割れ発生メカニズムの解明

研究課題名(英文)Occurrence mechanism of horizontal cracks in RC decks.

研究代表者

大西 弘志 (ONISHI, Hiroshi)

岩手大学・工学部・准教授

研究者番号：70283728

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,000,000円

研究成果の概要(和文)：道路橋RC床版内部に発生する水平ひび割れの発生メカニズムを解明するために、RC床版打設直後に床版内部のコンクリートに発生する収縮ひずみに着目した研究を実施した。本研究では水平ひび割れの起点が主鉄筋、配力鉄筋付近にあることに注目し、鉄筋周辺に発生するであろう局所的なコンクリートの収縮ひずみを調査することにした。その結果、床版内の鉄筋周辺のコンクリートにはごく小さい範囲に局所的な引っ張りひずみが発生している可能性が高く、その影響と外力の複合効果によって水平ひび割れが発生している可能性を提示することができた。

研究成果の概要(英文)：We investigate the mechanism of occurrence of horizontal cracks in RC decks. As a main objective, we focused the shrinkage stress of concrete after casting. In most cases of occurrence of horizontal cracks, the origination of cracks is near reinforcements in the decks. Then we tried to survey the local stress of concrete generated in near area of reinforcement just after casting. In this survey, we carried out some experiments researches and FEM analysis with 3D model. we can't measure the local stress of concrete in the experiments because the existing area of local stress is very small. Then we calculated the local stress by FEM analysis. In this FEM analysis, we can find out the probability of occurrence of local stress around the reinforcements. And the magnitude of local stress is influenced to occurrence of horizontal cracks under acting of live loads.

研究分野：維持管理工学

キーワード：道路橋RC床版 水平ひび割れ 収縮ひずみ

様式 C - 19、F - 19、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

(1) 現在我が国には橋梁が約70万橋存在する。このうち、建設50年を超えた2m以上の橋梁の数は現在約7万橋でその割合は18%である。この範疇の橋梁は10年後には約17万橋(43%)、20年後には約27万橋(67%)へと増加することがわかっている。これに対し我が国が置かれている社会的環境、経済的環境を考慮するとこれら供用期間が50年を超過した全ての橋梁を架け替えることは困難である。そのため、我が国においては道路橋をはじめとする橋梁の供用期間を100年に設定し、効率的な維持管理により既存橋梁をはじめとするすべての橋梁を長期にわたって供用可能な状態に保つことを考えている。

(2) 橋梁の維持管理を考える上で重要な要素の一つに床版の損傷・劣化がある。特に鉄筋コンクリート床版(RC床版)においては、大型車交通量の増加に伴う疲労、凍結防止剤の使用や海塩粒子の作用に伴う塩害による鉄筋の腐食等、劣化の要因が多数存在し、その維持管理は重要な課題となっている。

(3) 近年の道路橋床版の維持管理では従来知られていた劣化進展過程とは別に床版内部に水平方向に発生するひび割れの存在が注目されている。このひび割れは発生しても外面からの目視による確認が不可能なうえ、床版の曲げ剛性を大幅に低下させるにもかかわらず、発生時期、発生要因についても全く不明であるため、様々な憶測をなされているが、その発生進展過程は明らかではない。

2. 研究の目的

本研究の目的は道路橋RC床版における水平ひび割れの発生メカニズムを明らかにすることであり、そのために次の2項目について研究を実施した。

(1) 模型供試体を用いた打設実験により、RC床版内部における打設直後のコンクリートの挙動を調査する。

(2) 3次元有限要素モデルを用いて温度応力を実施し、水平ひび割れの起点であると考えられる床版内部の鉄筋近傍のコンクリートに発生するひずみを算出する。

3. 研究の方法

(1) 本研究では床版コンクリートの打設直後の収縮挙動を計測するため、図-1に示す試験体を製作し、コンクリートが硬化する過程でどのようなひずみが発生するのかを計測した。実験に用いたひずみゲージは鉄筋の軸方向のひずみを計測するためのゲージとコンクリートの板厚方向のひずみを計測するための埋設ゲージをそれぞれ設置した。今回使用した鉄筋はSD295相当の引張強度(577MPa : D13, 605MPa : D16)を確認して

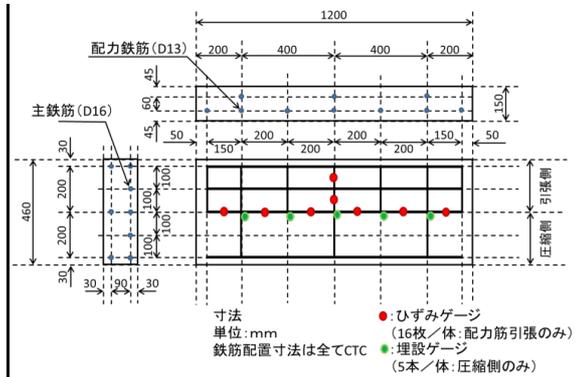


図-1 床版モデル試験体

いる。コンクリート打設時の気温が低かったため、本研究では早強コンクリートを使用し、収縮の発生度合いを制御した場合の違いが確認できるのか調査するために膨張材を入れない場合(A)と入れる場合(C)の2種類の配合を用意した(表-1)。なお、膨張材は初期養生の温度管理が膨張量に起因することが既往の研究からも示されているため、養生期間の打設開始から36時間に限り20の温度管理を行って実験した。ひずみの計測期間は13日間である。

表-1 コンクリートの配合

配合	Gmax (mm)	スランプ (cm)	空気量 (%)	W/C (%)	s/a (%)	単位質量(kg/m <sup>3</sup> )						
						W	C	S	G	膨張材	減水剤	AE剤
A	20	18±2.5	4.5±1.5	43.3	48	160	370	861	1031	0	1.665	0.37
C	20	18±2.5	4.5±1.5	43.3	48	160	330	861	1031	40	1.665	0.37

(2) 実験で把握できない局所的なコンクリートのひずみ挙動を調査するため、3次元有限要素を用いた温度応力解析を実施した。従来の検討ではRC床版内の鉄筋は分散モデルによりモデル化されていたが、本研究では図-2に示すように鉄筋の形状を模した8節点Solid要素によりモデル化を実施した。

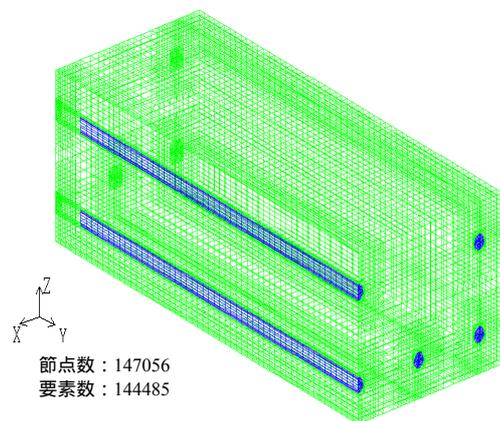


図-2(a) 床版解析モデル例(1/4モデル)

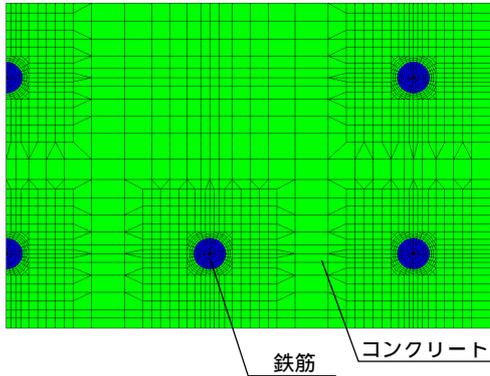


図-2(b) 床版解析モデル例(主鉄筋断面)

温度解析の境界条件は養生方法や構造物の形状、解析モデル外部との熱のやりとりの状況などを考慮して定めた。解析モデルは、対称性を考慮して1/4モデルとし、モデル中央断面については断熱境界としてモデル化した。大気とコンクリートの接する面における境界条件は熱伝達境界とし、養生条件および熱伝達率を表-2のように設定した。熱伝達率は、コンクリート標準示方書の標準値より設定し、無養生の場合の熱伝達率は示方書の標準値の平均を用いた。それ以外の使用条件は表-3に示すとおりである。

表-2 熱伝達の境界条件

部位	養生条件	熱伝達率 (w/m <sup>2</sup> °C)
床版上面	散水(2日間) → 無養生	14 → 14
床版側面および下面	鋼板型枠 (14日間)	14

表-3 使用物性値

項目	コンクリート	鉄筋
熱伝導率 (W/m°C)	2.7	51.3
密度 (kg/m <sup>3</sup> )	2400	7850
比熱 (kJ/kg°C)	1.15	0.47
初期温度 (°C)	10	10
断熱温度上昇特性 (°C)	$Q(t) = K(1 - e^{-\alpha t})$	-
ヤング率 (N/mm <sup>2</sup> )	$\varphi \times 6300 \times f_c(t)^{0.45}$	2.00E+05
圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )	$\{t/(a+bt)\} \times d(i) f_{ck}$	605
引張強度 (N/mm <sup>2</sup> )	$0.44 \times f_c(t)^{1/2}$	605
ポアソン比	0.195	0.3
線膨張係数(10 <sup>-6</sup> /°C)	10	10
乾燥収縮ひずみ (×10 <sup>-6</sup> )	JSCE 実験式 (高強度向)	-
自己収縮ひずみ (×10 <sup>-6</sup> )	JCI 指針 2008	-
膨張ひずみ(×10 <sup>-6</sup> )	JCI 指針 2008	-

(3)さらに、実橋梁のRC床版の構造をモデル化した有限要素モデルについて温度応力解析を実施した。この時に使用したモデルは図-3,4に示すとおりであり、解析条件は表-2,3に示した条件を使用している。

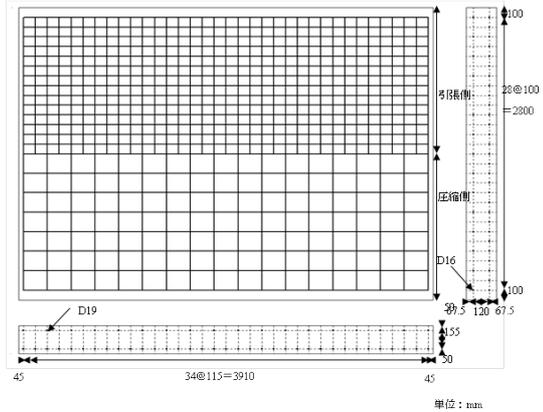


図-3 実橋梁床版モデル(t=250mm)

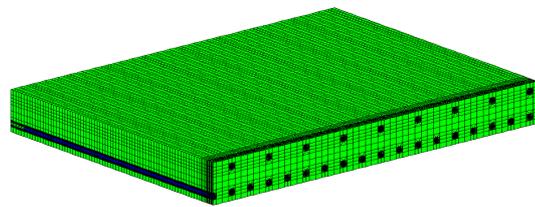


図-4(a) 実橋床版 1/4 モデル

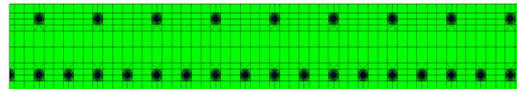


図-4(b) 実橋床版モデル断面(主鉄筋)

#### 4. 研究成果

(1)床版モデルによる打設実験時のコンクリート内の温度変化を図-5に示す。

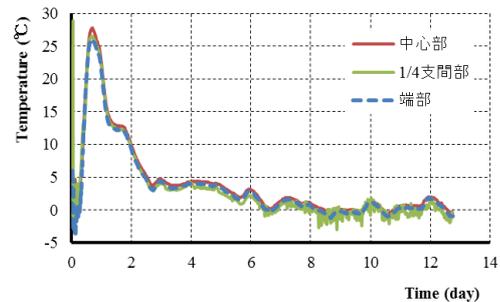


図-5 コンクリート内の温度変化

今回試験体の主鉄筋で計測されたひずみの時刻歴を図-6に、埋設ゲージにより計測されたひずみの時刻歴を図-7に示す。今回の実験では膨張コンクリートに関しては膨張を確保できる配合としていたため、主鉄筋が構成する面内ではコンクリートには圧縮のひずみを導入できていることがわかる(主鉄筋には反作用である引張のひずみが導入されている)。

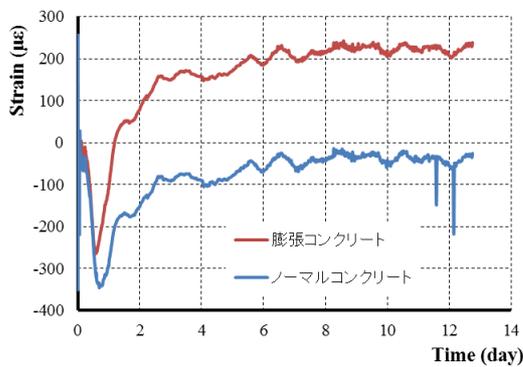


図 - 6 主鉄筋ひずみの時刻歴

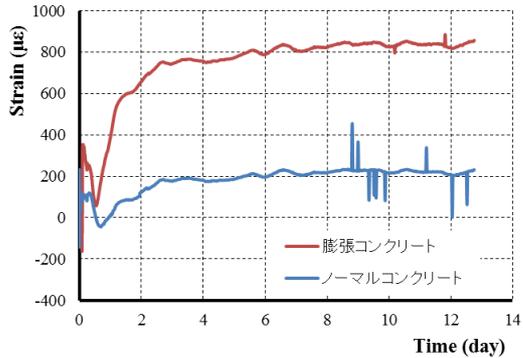


図 - 7 コンクリートひずみの時刻歴

これに対し床版の板厚方向のひずみである，埋設ゲージにより計測されたコンクリートのひずみの時刻歴では，これまでに確認されていなかった大きな膨張ひずみの発生・残留が確認できた．これは主鉄筋近傍の水平面内では主鉄筋による拘束により，コンクリートの膨張が制限されるのに対し，板厚方向にはコンクリートを拘束できる物体が存在しないため，膨張材の効果により膨張ひずみがあるまま出ているものである．ただし，膨張コンクリートを用いた床版において初期からひび割れが入るといふ事例は報告されていないため，この板厚方向のひずみが床版内部の水平ひび割れに全て寄与しているとは考え難い．

(2) RC 床版の部分モデルで計算されたコンクリート内部の温度履歴の例を図 - 8 に示す．

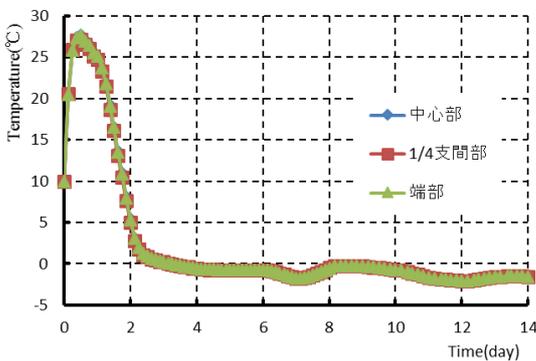


図 - 8 温度履歴計算例

この温度履歴は実験で計測されたものと大差ないものであったため，図 - 9 に示される点に着目して計算を実施したところ，図 - 10 ~ 12 に示される計算結果を得た．

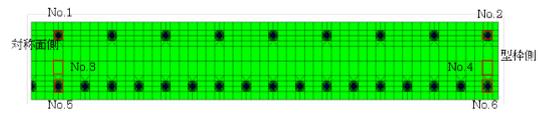


図 - 9(a) 解析着目点 (断面内)

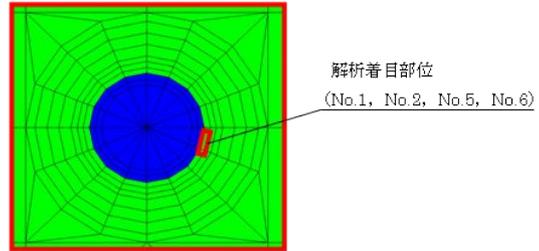


図 - 9(b) 解析着目位置 (鉄筋近傍)

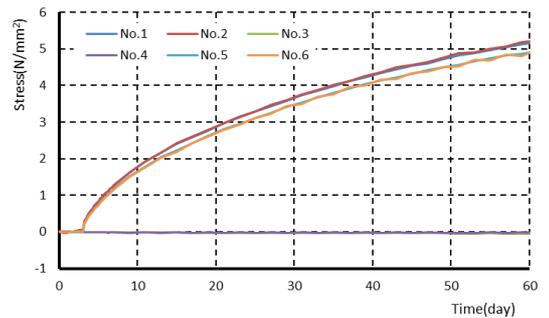


図 - 10 鉛直方向応力時刻歴

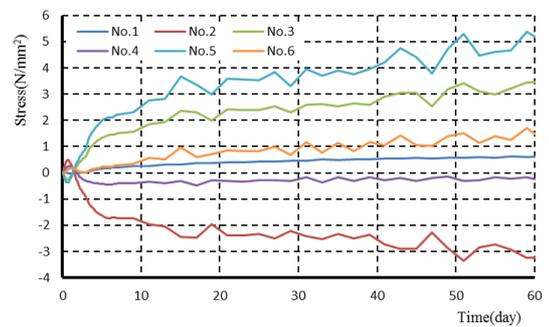


図 - 11 水平方向 (鉄筋方向) 応力時刻歴

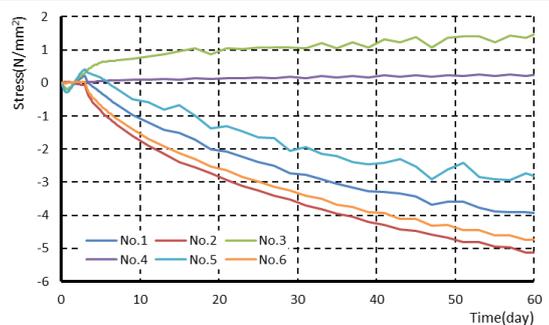


図 - 12 水平方向 (幅員方向) 応力時刻歴

鉛直方向に発生している応力を確認すると，着目点が鉄筋近傍である場合には 60 日経過時で  $5\text{N/mm}^2$  の引張応力が確認できる結果となっているが，鉄筋近傍でない場合にはほぼ  $0\text{N/mm}^2$  となっている．これに対して水平方向の応力を確認すると型枠や鉄筋との位置関係により各応力の挙動が影響を受けていることがわかった．

鉄筋近傍のコンクリートにどのようなひずみが発生しているのか確認するために，主応力を算出し，その大きさと方向を確認した．

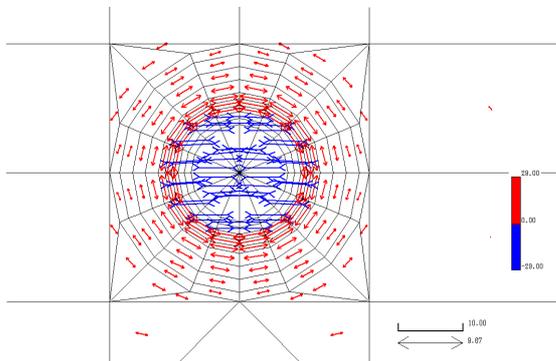


図 - 13 着目点 1 の主応力分布

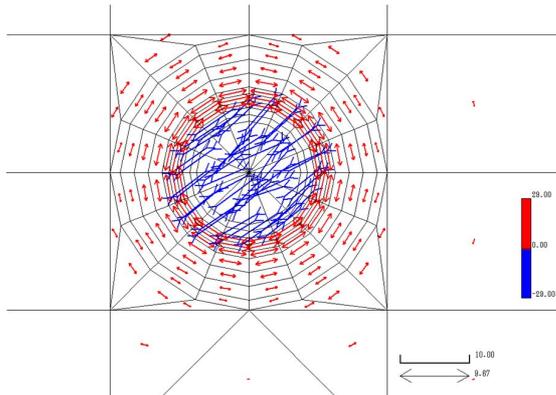


図 - 14 着目点 2 の主応力分布

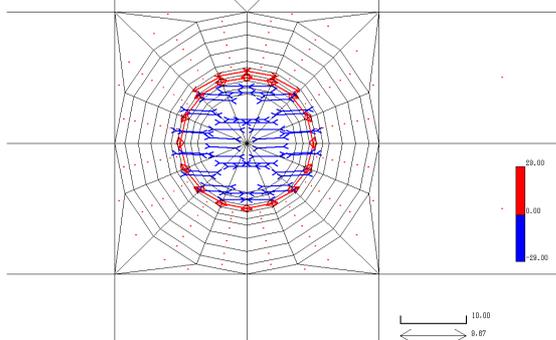


図 - 15 着目点 5 の主応力分布

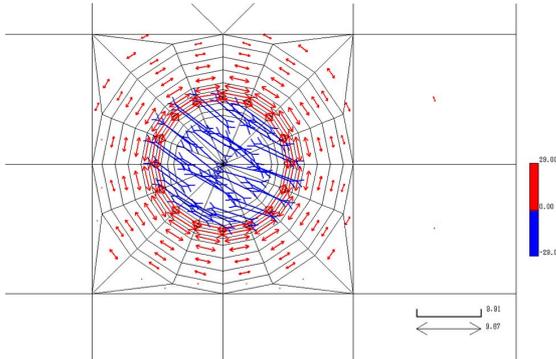


図 - 16 着目点 6 の主応力分布

図 - 13 ~ 16 は着目点に当たる部位の鉄筋周辺の主応力状態を矢示図で表現したものである。これらの図を見ると周辺からの拘束があると思われる着目点 1, 2, 6 では鉄筋に近づくほど大きな引張応力となっていることがわかる。それに対して床版端部上方で拘束が小さいと思われる着目点 5 では鉄筋表面に沿って引張応力が発生していることが分か

る。これらの応力はこれ単体でコンクリートにき裂を発生させるという大きさのものではないと判断できるが、このひずみに活荷重による応力や主桁等による外部拘束によってもたらされる応力が重畳した時にはき裂の要因の一つとなりえる大きさとなっている。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 2 件)

大西弘志, 日下佳明, 岩崎正二, 出戸秀明, RC 床版内部水平ひび割れの発生メカニズムに関する一検討, 平成 26 年度土木学会東北支部技術検討発表会公演概要集, 査読無, 1 巻, 2015, -11-1-2

小松代亮磨, 大西弘志, 岩崎正二, 出戸秀明, 大西弘志, RC 床版内部水平ひび割れの発生メカニズムに関する一検討, 第八回道路橋床版シンポジウム論文報告集, 査読有, 8 巻, 2014, pp.9-12

〔学会発表〕(計 2 件)

大西弘志, 日下佳明, 岩崎正二, 出戸秀明, RC 床版内部水平ひび割れの発生メカニズムに関する一検討, 平成 26 年度土木学会東北支部技術検討発表会, 2015.3.7, 東北学院大学(宮城県)

小松代亮磨, 大西弘志, 岩崎正二, 出戸秀明, 大西弘志, RC 床版内部水平ひび割れの発生メカニズムに関する一検討, 第八回道路橋床版シンポジウム, 2014.10.29-30, 土木学会(東京都)

## 6. 研究組織

(1)研究代表者

大西 弘志 (ONISHI Hiroshi)

岩手大学・工学部・准教授

研究者番号: 70283728