

1. はじめに

近年、コンクリート構造物に発生するひび割れが問題となっている。実際の構造物において、コンクリート部材は底面または底面と両端を固定されていることが多く、収縮によるひび割れが発生しやすい状態にある。コンクリートの自己収縮や乾燥、温度変化等による様々な収縮が拘束されることで部材に引張力が発生し、この引張応力がコンクリートの引張強度を上回るとひび割れが発生する。ひび割れは、コンクリート構造物の耐久性や美観を損なうだけでなく、構造物の寿命にも大きな影響を与えるため、施工前の段階から十分な対策を検討することが重要となってくる。しかし、コンクリート構造物に発生するひび割れの原因は一つではなく、材料や施工、環境、構造など様々な要因が複雑に関連していることから、これまで多くの研究者によって研究がなされているものの、ひび割れの発生確率やひび割れ幅を予測することは非常に難しいとされている^{1),2),3)}。また、現在では解析により温度応力によるひび割れは比較的精度良く予測できるようになってきたが、ひび割れ幅や鉄筋等によるひび割れ分散効果を表現することは難しく、複雑な環境条件等が含まれることで実構造物での結果と一致しない場合も多くみられる。そのため、ひび割れからの劣化が問題とならないような場合にはそれを許容するという考え方があ。すなわち、コンクリート構造物に発生するひび割れは発生することよりも、その幅が問題とされている。

2. 実験概要

実用的なひび割れの抑制対策の一つとして、鉄筋によりひび割れを分散させ、ひび割れ幅を制御する方法がある。山口県では、ひび割れの原因究明と発注や計画段階におけるひび割れの予測を目的として、ひび割れの発生状況、施工状況、ひび割れ幅について整理したデータを蓄積している⁴⁾。「鉄筋コンクリート構造物」と「止水性を必要とする無筋構造物」の現場打ちコンクリートを対象としており、2012年1月時点で、約1000リフトのデータがある。これらのデータの構造物の施工時期はほぼ各季節にわたっており、また、ひび割れ調査はひび割

表-1 物性値

物性値	コンクリート	拘束鋼材
熱伝導率	2.7 W/°C	51.3 W/°C
密度	2400 kg/m ³	7850 kg/m ³
比熱	1.2 kJ/kg°C	0.47 kJ/kg°C
初期温度	35°C	30°C
ヤング率	26.43 kN/mm ²	200 kN/mm ²
圧縮強度	32.79 N/mm ²	200 N/mm ²
引張強度	3.40 N/mm ²	200 N/mm ²
ポアソン比	0.16	0.3
線膨脹係数	10 μ/°C	12 μ/°C

れ発生から概ね1ヵ月程度行ったものである。そして、そのデータ分析の結果から、実構造物において、鉄筋比が高いほど最大ひび割れ幅が小さくなるといった傾向が確認されている⁵⁾。建設現場では、ひび割れ幅を制限値以内に留めることが要求されており、ひび割れ幅やひび割れ間隔を容易に求める算定式の確立が望まれている。

そこで本研究では、そうした建設現場のニーズに応えることを目的として、鉄筋によるひび割れ幅の抑制効果に着目し、鉄筋比の違いによるひび割れ幅の変化を検証した。

3. 解析概要

(1) 解析ソフト

解析は、コンクリート構造物のひび割れ解析ソフト「ASTEA MACS」を使用した。「ASTEA MACS」は、有限要素法によるコンクリート構造物専用の3次元温度応力解析用ソフトである。形状、物性データ、境界条件等を設定して拘束収縮供試体をモデル化し、各条件におけるひび割れ幅の違いについて検証する。

(2) 解析条件

拘束収縮供試体の解析モデルを作成し、6週間までの解析を行った。各物性値を表-1に示す。鉄筋はトラス要素でモデル化し、その間の付着は完全付着状態とした。ひび割れは、バネ要素であるボンドリンク要素を設定す

ることで表現する。その際ひび割れ幅は、ポンドリンク要素のひずみから算出される⁹⁾。解析モデルを図-1に示す。

(3) 解析モデルの形状・寸法

拘束鋼材は、全長 5,160mm、高さ 200mm、幅 560mm である。拘束鋼材の形状を図-2 に示す。供試体は全長 5,000mm、高さ 200mm、幅 400mm、試験区間は断面 200mm×200mm、長さ 4,000mm で、断面中央に鉄筋を配置し、鉄筋比を変化させてひび割れ幅の解析を行う。なお、供試体配筋図を図-3 に示す。

(4) 使用材料および配合

乾燥収縮によるひび割れを明瞭に表現するために、コンクリートよりも収縮量の大きいモルタルを使用した。モルタルの配合を表-2 に示す。

4. 解析結果と考察

解析によって得られたひび割れ幅と鉄筋比の関係を図-4 に、各条件のひび割れ幅を表-3 に示す。解析の結果、無筋の場合のひび割れ幅は 1.659mm、D16(鉄筋比 0.497%) の場合は 1.202mm、D29(鉄筋比 1.606%) の場合は 0.551mm であり、鉄筋比が増加するにつれてひび割れ幅が減少している。このことから、ひび割れ幅は鉄筋比の影響を受けるといえる。

5. 実構造物

(1) 解析条件

前項では、鉄筋比がひび割れ幅に影響することが確認された。そこで実際の構造物において、鉄筋比がひび割れ幅に与える影響、さらに配筋方法の違いがひび割れ幅に与える影響を検証する。全長 10,000mm、高さ 2,200mm、幅 1,000mm の底部を地盤で拘束された橋脚を想定した解析モデルを作成し、6 週間までの解析を行った(図-5 参照)。使用材料及び配合は、前項と同様である。各物性値を表-4 に示す。

表-2 モルタルの配合

W/C (%)	単位重量(kg/m ³)		
	水(W)	セメント(C)	細骨材
43	285	663	1037

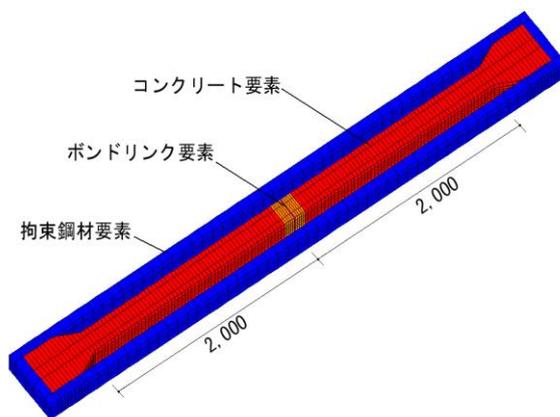


図-1 解析モデル



図-2 拘束鋼材の形状

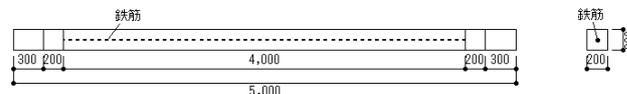


図-3 供試体配筋図

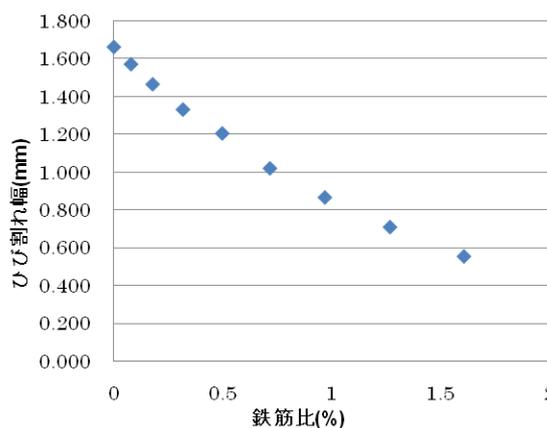


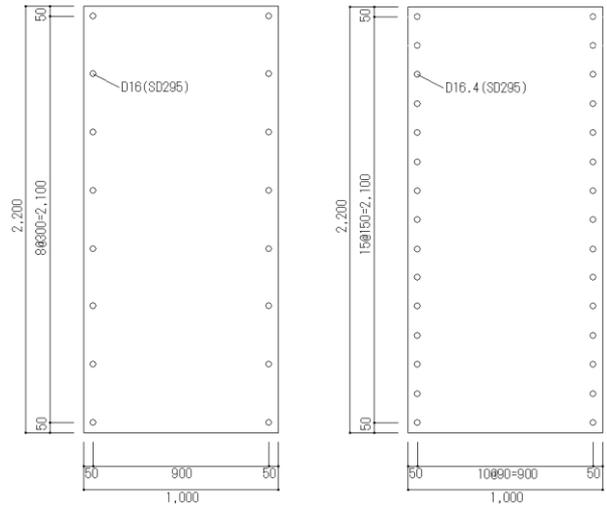
図-4 ひび割れ幅－鉄筋比関係

表-3 ひび割れ幅

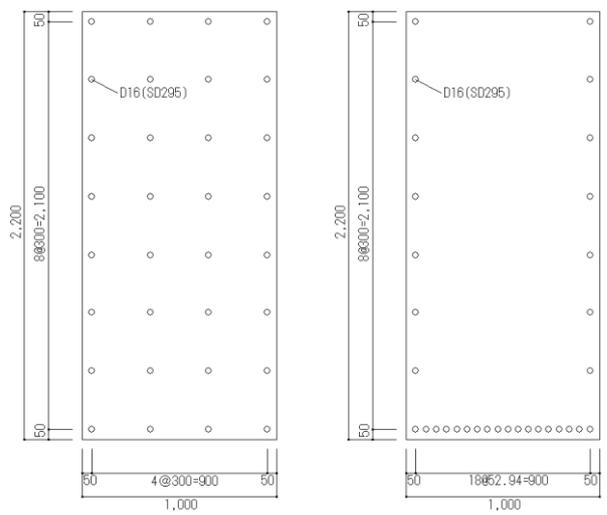
鉄筋	—	D6	D10	D13	D16	D19	D22	D25	D29
鉄筋比 (%)	0	0.079	0.178	0.317	0.497	0.716	0.968	1.267	1.606
ひび割れ幅 (mm)	1.659	1.568	1.461	1.328	1.202	1.017	0.863	0.706	0.551

表-4 物性値

物性値	コンクリート	地盤
熱伝導率	2.7 W/°C	1.7 W/°C
密度	2400 kg/m ³	2100 kg/m ³
比熱	1.2 kJ/kg°C	1.4 kJ/kg°C
初期温度	35°C	15°C
ヤング率	26.43 kN/mm ²	500 N/mm ²
圧縮強度	32.79 N/mm ²	22.60 N/mm ²
引張強度	3.40 N/mm ²	1.96 N/mm ²
ポアソン比	0.16	0.3
線膨脹係数	10 μ/°C	10 μ/°C



(a)基本型 (b)モデル A



(c)モデル B (d)モデル C

図-6 供試体配筋図

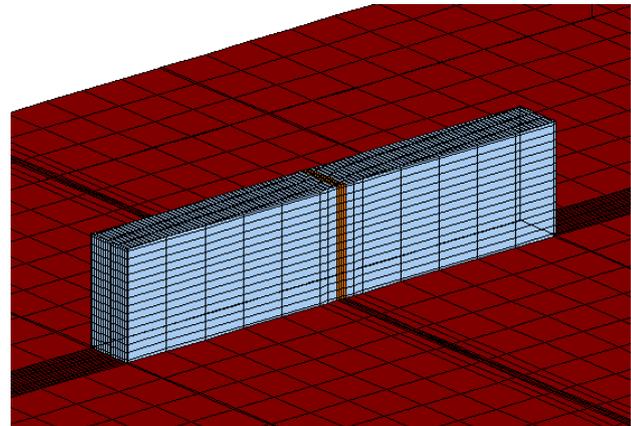


図-5 実構造物解析モデル

(3) 解析モデルの形状・寸法

各解析モデルの配筋図を図-6に、各供試体条件を表-5に示す。鉄筋比0.144%で、異形鉄筋 D16(SD295)を300mm 間隔で配置したものを基本形とし、モデル Aは D16.4(SD295)を150mm 間隔で配置し、鉄筋比を0.288%とする。モデル Bは、横方向に300mm 間隔で鉄筋を配置する。モデル Cは底部から50mm の位置に鉄筋を52.94mm 間隔で配置する。以上、計4体の解析モデルを作成し、解析を行う。

表-5 解析モデル条件

解析モデル	鉄筋	鉄筋比(%)
基本形	D16(SD295)16本	0.144
モデル A	D16.4(SD295)30本	0.288
モデル B	D16(SD295)32本	
モデル C		

6. 実構造物の解析結果と考察

解析によって得られたひび割れ幅を表-6に、ひび割れ幅の履歴を図-7に示す。基本形のひび割れ幅は0.586mm、モデルAは0.493mm、モデルBは0.388mmであり、鉄筋比の増加したことによりひび割れ幅が抑制されている。しかし、モデルCのひび割れ幅は0.561mmであり、基本形と比較して約0.02mmしか抑制されていない。これは、鉄筋の位置が拘束部である地盤に近い

表-6 ひび割れ幅

解析モデル	ひび割れ幅(mm)
基本型	0.586
モデル A	0.439
モデル B	0.388
モデル C	0.561

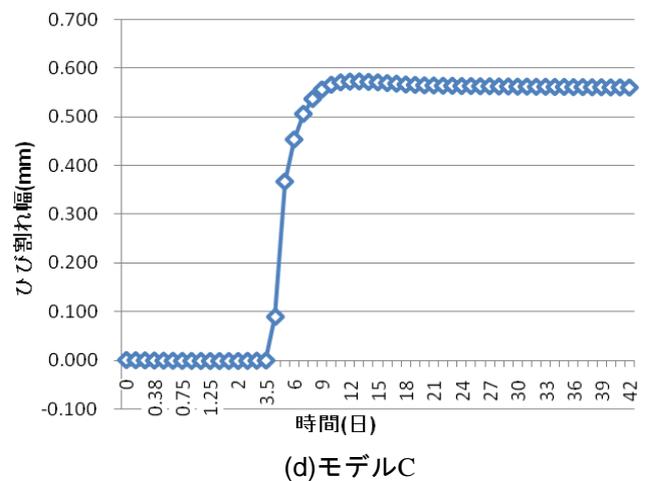
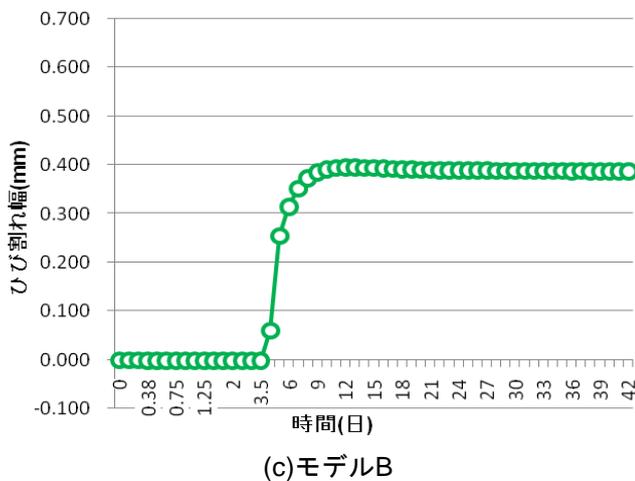
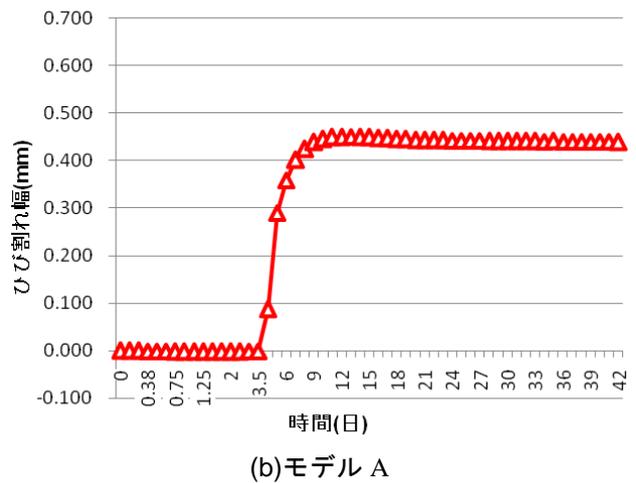
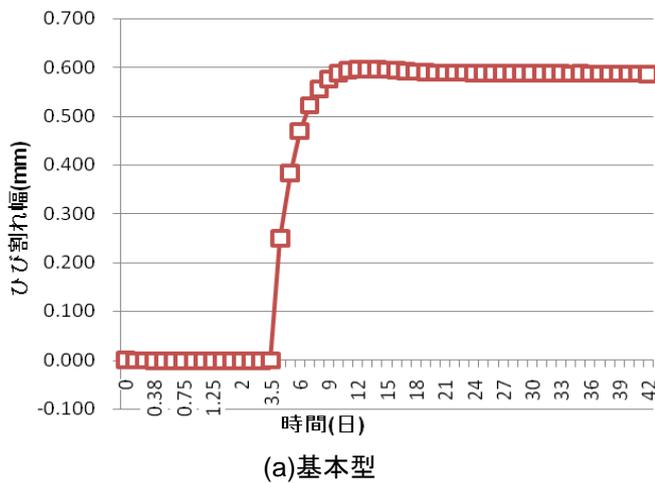


図-7 ひび割れ幅履歴

ため、収縮量が低減せずひび割れ幅が抑制されなかったと考えられる。また、モデルBの抑制量が一番大きいことから、鉄筋を分散させて配置することが、ひび割れ幅の抑制に効果的であるということが推測される。

7. 結論

拘束収縮供試体において、鉄筋比の違いによるひび割れ幅の変化を検証した。また、実構造物においても、鉄筋比の違いによるひび割れ幅の変化、さらに配筋方法の違いによるひび割れ幅の変化を検証した。得られた結果より、結論を以下に示す。

- (1) 鉄筋比が増加するにつれ、ひび割れ幅が抑制される。また、実構造物においても同様の効果が確認された。
- (2) 鉄筋を拘束部に近い位置に配筋しても、ひび割れ幅の変化はあまりみられない。
- (3) 鉄筋を分散して配置することで、ひび割れ幅が抑制される。

拘束収縮供試体、実構造物の双方において、鉄筋比の増加によるひび割れ幅の減少を確認することが出来た。今後は、施工性を考慮した配筋方法を検討する必要がある。

参考文献

- 1) 日本コンクリート工学協会：マスコンクリートの温度応力研究委員会 報告書，1992。
- 2) 日本コンクリート工学協会：マスコンクリートのひび割れ制御指針 2008，2008。
- 3) 日本コンクリート工学協会：マスコンクリートのひび割れ制御に関する研究委員会 報告書，2006。
- 4) 山口県建設技術センター：<http://www.yama-ctc.or.jp/data/index.html>
- 5) 稲津貴和子，田村隆弘，澤村修司：山口県のコンクリート工事に関するデータベースを用いたひび割れ幅に関する統計的研究，コンクリート工学年次論文集，pp1337-1342，2011。
- 6) 計算力学研究センター：離散ひび割れモデルの作成について（改訂版），2011。