

鉄筋コンクリートの沈下ひび割れの発生要因と その対策に関する基礎研究

杉山隆文¹・辻 幸和²・橋本親典³・黒岩俊之⁴

¹正会員 Ph.D. 群馬大学助手 工学部建設工学科 (〒376 群馬県桐生市天神町1-5-1)

²正会員 工博 群馬大学教授 工学部建設工学科

³正会員 工博 群馬大学助教授 工学部建設工学科

⁴正会員 工修 東急建設株式会社 東北支店土木部 (〒980 宮城県仙台市青葉区国分町3-6-1)

打込み後、沈下ひび割れの発生を模擬した鉄筋コンクリートはりを用いて、打込み面を引張縁とした曲げ強度試験を行い、沈下ひび割れの発生を、引張縁コンクリートにおける曲げひび割れ発生応力度によって評価した。沈下ひび割れの発生は、ブリーディングが多いコンクリートほど顕著であった。しかし、タンピングによって沈下ひび割れの修復が可能である。また、膨張材の使用によって、沈下ひび割れの発生をタンピングと同等あるいはそれ以上の効果で抑制できる。高流動コンクリートを使用した場合は、沈下ひび割れによる曲げひび割れ発生応力度の低下は見られなかった。

Key Words : *settlement crack, flexural cracking load, bleeding, cover, expansive agent, self-placing concrete*

1. はじめに

近年、コンクリート構造物の耐久性が社会的な問題となっている中、コンクリートに発生するひび割れは、コンクリート構造物の耐久性に悪影響を及ぼす要因の1つである。特に、流動性に乏しいフレッシュコンクリートでは、打込み後、ブリーディングが生じるとともに沈下を起こし、内部に固定された水平鉄筋が置かれている場合には、沈下するコンクリートの局所的な妨げになり、鉄筋に沿って上部コンクリートに沈下ひび割れが発生することが多い。しかしながら、コンクリートの施工上の欠陥である沈下ひび割れについては、コンクリートの打込み後、数時間おいてコンクリート表面を叩いて締め固める、タンピング作業を行うことにより解決されるとして、これまであまり重要視されていなかった。そのため、沈下ひび割れの定量化については、ほとんど検討されていないのが現状である。

沈下ひび割れは、特にコンクリートスラブの上面に発生しやすいことから、その耐久性を低下させる原因の1つである。また、沈下ひび割れがコンクリート表面に発生していなくとも、鉄筋上部とその両側のコンクリートの相対沈下量による影響で、コンクリート内部には、引張応力が作用している場合がある^{1), 2)}。この場合、繰り返し荷重などの外力により、ひび割れが発生する危険性がある部分には、潜在的欠陥が存在することになる。

沈下ひび割れは、その発生メカニズムから、沈下量に関係しているブリーディングが多いコンクリートほど顕著であると予想される。また、ブリーディングの他に、コンクリートの粘性および流動性などに関連した変形性能による影響も大きいと考えられる^{2), 3), 4)}。

著者らは、コンクリートの沈下ひび割れの定量化を目標に、これまで基礎的な研究として、鉄筋コンクリートはり（以後RCはりと呼ぶ）の曲げ強度試験を行って、沈下ひび割れの発生を評価し、沈下ひび割れの発生に影響を及ぼす各種要因を検討してきた^{5), 6)}。今回、新たにコンクリートの配合のうち水結合材比とブリーディング量に関係する単位水量、および上部コンクリートの鉄筋までのかぶり厚さを変化させて、沈下ひび割れの発生を調べた。また、タンピングによる沈下ひび割れの修復の程度についても検討するとともに、膨張材を使用したRCはりについても実験を行い、膨張材の使用による沈下ひび割れの防止効果を調べた。さらに、近年、コンクリート構造物の信頼性向上、施工の省力化・合理化などを目的として、研究開発が各方面で活発に行われ、実用化も進んでいる高流動コンクリートに対しても同様な実験を行った。

本研究は、新たに得られた実験データに既往の実験データ^{5), 6)}を加えて、鉄筋コンクリートの沈下ひび割れの発生要因とその対策に関して検討を行ったものである。

なお、沈下ひび割れの発生は、打込み高さや部材断

表-1 普通および膨張コンクリートの配合および圧縮強度

W/(C+E) (%)	スランブ* (cm)	粗骨材の最 大寸法(mm)	空気量 (%)*	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)					圧縮強度 (N/mm ²)	曲げ強度 (N/mm ²)	
					水	セメント	膨張材	細骨材	粗骨材			
55	5±1.5	20	2±0.5	44.2	178	324	0	803	1035	49.2	5.50	
					178	294	30	803	1035	47.0	4.75	
	10±1.5				42.9	189	344	0	763	1029	45.2	5.61
					207	376	0	751	968	43.6	5.84	
65	10±1.5	20	2±0.5	44.2	207	346	30	751	968	43.3	5.82	
					44.9	189	291	0	818	1025	36.2	5.47

*目標値

表-2 高流動コンクリートの配合

W/C (%)	粗骨材の最 大寸法(mm)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)				
			水	セメント	細骨材	粗骨材	Ad ⁱ⁾
30	20	52.3	175	582	851	790	1.58
30	20	52.3	175	582	851	790	1.40

i) 高性能A E減水剤(Ad) = セメント(C) × x%

表-3 高流動コンクリートの諸性状

スランブ 70- (cm)	V漏斗流 下時間(s)	空気量 (%)	最終ブリーディ ンク量 (cm ³ /cm ²)	圧縮強度 (N/mm ²)	曲げ強度 (N/mm ²)
64.0	12.7	2.0	0	71.0	8.40
53.0	15.9	2.0	0.02	61.2	8.16

面高さなどにも影響を受けると考えられるが、本研究では実験室内における基礎的試験であるために、これらの施工要因を一定として各試験を行った。

2. 実験の概要

(1) 使用材料および配合

細骨材および粗骨材は、ともに渡良瀬川産の川砂(比重=2.60~2.61, 吸水率=2.22~2.68%, 粗粒率=2.37~2.63) および川砂利(比重=2.64~2.66, 吸水率=1.12~1.35%, 粗粒率=6.46~6.59, 実積率=59.0~60.6%)を用いた。

a) 普通および膨張コンクリート

セメントは普通ポルトランドセメント(比重=3.16)を、膨張材は、エトリンガイト系のものをそれぞれ使用した。

コンクリートの配合は、水結合材比を55, 65%の2水準にした。ここに、結合材はセメントと膨張材を累加したものである。また、スランブが5, 10, 18cmとなるように、単位水量を変化させた。なお、粗骨材の最大寸法は、最小かぶりを考慮して20mmとした。なお、単位膨張材量(E)は30kg/m³とした。今回の試験で用いた普通および膨張コンクリートの配合を、硬化コンクリートの圧縮強度と曲げ強度と併せて表-1に示す。また、それぞれの配合について、JIS A 1123に基づいたブリーディング試験を行い、その結果を図-1に示す。

b) 高流動コンクリート

セメントは、高ビーライト系セメントを用いた。混和剤は、ポリカルボン酸系の高性能A E減水剤を使用した。

粉体としてはセメントだけを使用し、増粘剤を全く使用しない粉体系の高流動コンクリートの配合設計法

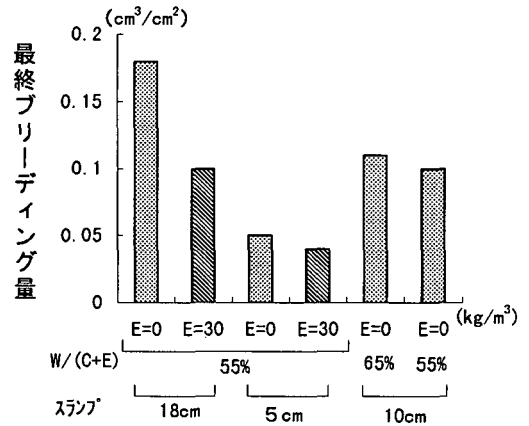


図-1 各配合の最終ブリーディング量

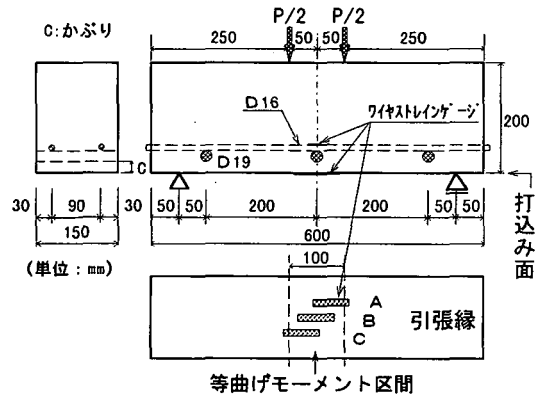


図-2 断面諸元および荷重方法

を基本とし⁷⁾、既往の研究⁸⁾を参考にして配合を決定した。その配合を、表-2に示す。混和剤量は、使用する骨材とコンクリート温度を考慮して⁹⁾、数回の試し

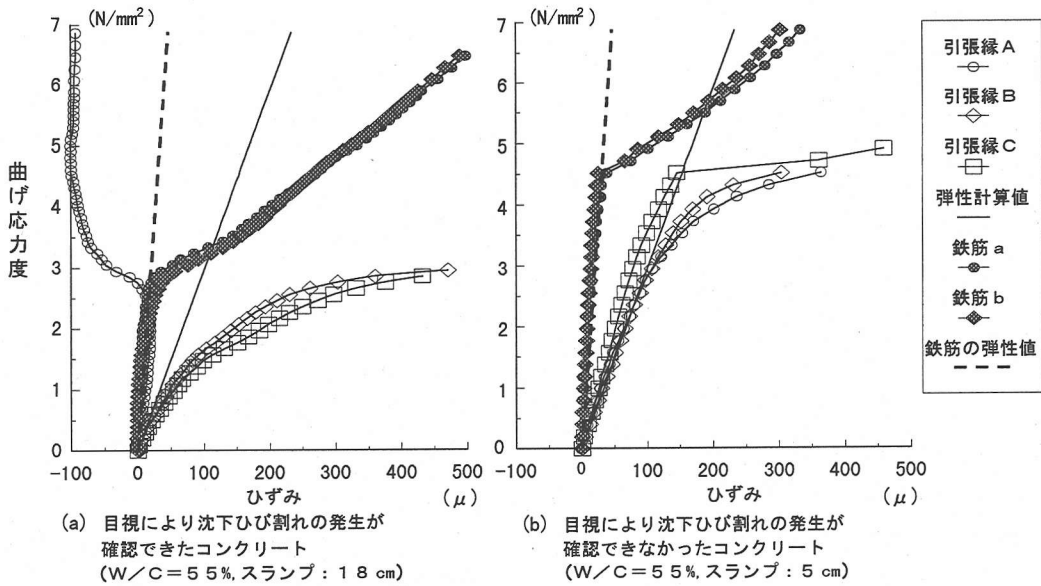


図-3 曲げ応力度とコンクリートの引張線のひずみおよび軸方向鉄筋のひずみとの関係 (かぶり: 4.5cm)

練りと1バッチ目のコンクリートの状態から、目標のスランプフローおよびV漏斗流下時間が得られるように決定した。なお、同一配合で混和剤添加量が異なる2種類の高流動コンクリートを試験した。

本実験で作製した高流動コンクリートの各種試験データを表-3に示す。また、試験に用いたV漏斗の吐出口の寸法は65×75mmである。

(2) 沈下ひび割れの評価方法

沈下ひび割れの発生の程度を、コンクリートスラブの1部分を模擬した、RCはりの曲げ強度試験によって評価した。作製したRCはりの断面諸元および荷重方法を図-2に示す。軸方向にD16の異形鉄筋を2本配置し、それに対して垂直にD19の異形鉄筋を中央より20cm間隔で3本配置した。そして、型枠内にコンクリートを打ち込み、棒形振動機によって締固めを行った後、そのまま実験室に静置して沈下ひび割れを発生させた。打込み面からD19鉄筋までのかぶりは、2.5cm、3.5cm、4.5cmと変化させた。なお、各かぶりに対して、同一配合のRCはりを2体作製した。

タンピングによる沈下ひび割れの修復の程度を調べるために、コンクリートの打込み後、ブリーディング試験でブリーディングの発生が終了したことを確認してから、タンピングを行った。タンピングは、各かぶりに対して2体ある同一配合のRCはりのうち、1体のRCはりの打込み面に対して行った。

RCはりは、材齢1日で脱型し、引き続き27日間の水中養生を行った。そして、RCはりに対して、打込

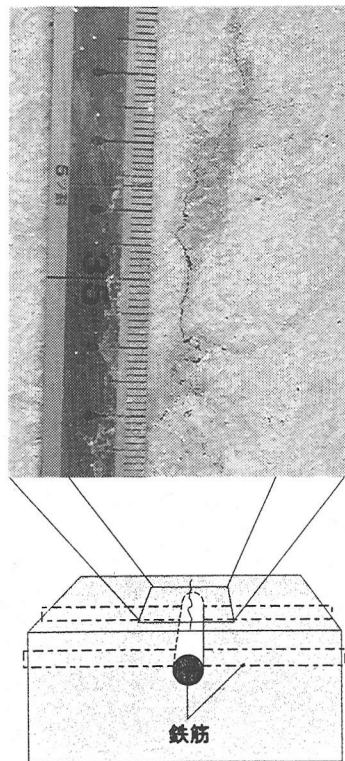


写真-1 RCはりの打込み面に発生した沈下ひび割れ
 面が引張線になるように、曲げ強度試験を行った
 (荷重スパン: 500mm, 荷重点間: 100mm)。つまり、
 曲げ強度試験におけるコンクリートの引張線には、引

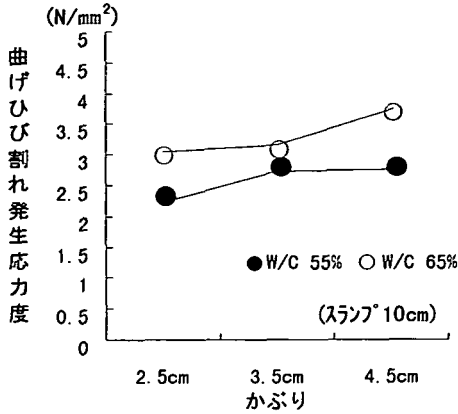


図-4 曲げひび割れ発生応力度に及ぼすかぶりの影響

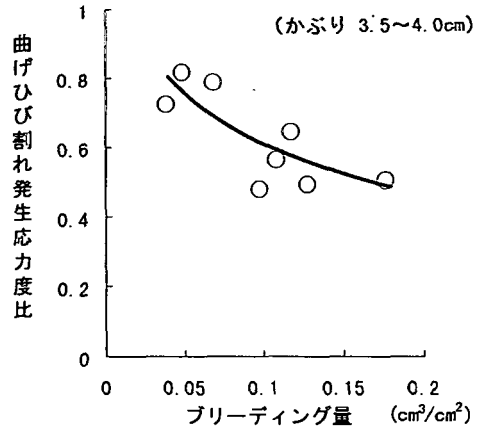


図-5 ブリーディング量と曲げひび割れ発生応力度比の関係

張応力あるいは沈下ひび割れが発生している。そこで、コンクリートの引張縁の等曲げモーメント区間をカバーするように、3枚のワイヤストレインゲージを貼付した(図-2参照)。また、2本の軸方向鉄筋(D16)中央部にも、それぞれワイヤストレインゲージを貼付した。そして、曲げ応力の増加に伴うそれぞれの引張縁ひずみの変化を測定し、コンクリートの引張縁ひずみの急変点から、曲げひび割れ発生応力度を算定した。従って、本研究では、沈下ひび割れを生じさせたRCはりの曲げ強度試験によって得られた、曲げひび割れ発生応力度の大きさによって、沈下ひび割れの程度を評価した。

3. 沈下ひび割れの発生に伴う曲げ応力度-ひずみ曲線の変化

図-3に、曲げ応力度とコンクリートの引張縁のひずみ(3枚のゲージで測定)、および軸方向鉄筋のひずみ(2枚のゲージで測定)の関係の1例を示す。

図-3(a)および(b)は、それぞれ曲げ強度試験を開始する前に、コンクリートの打込み面に沈下ひび割れの発生を、目視によって確認できた供試体および確認できなかった供試体について行った曲げ試験の結果である。ただし、両方のRCはりのかぶりは4.5cmである。(a)に示した供試体は、スランプが18cm、膨張材を用いないW/C=55%のコンクリートで、タンピングを行わなかった供試体である。打込み面には、写真-1に示すように、目視によって幅1mm程度の沈下ひび割れが、軸方向に対して垂直に配置されたD19に沿うように、コンクリート上部において発生していた。

(a)については、コンクリートの引張縁の等曲げモーメント区間において測定したひずみが、曲げ応力度がかなり小さな段階で、大きく弾性計算値からはず

れている。これは、コンクリートの引張縁において、引張鉄筋に対して垂直に沈下ひび割れが発生していたために、曲げ応力の増加に伴い、表面の沈下ひび割れの幅が徐々に増大して、そのひび割れの先端がはりの高さ方向へ進展しているためである。なお、この場合等曲げモーメント区間では、沈下ひび割れから発達した、D19鉄筋にほぼ沿ったひび割れ以外の曲げひび割れは観察されなかった。また、鉄筋のひずみに関しても、曲げ応力度が2.5~3.0N/mm²付近で弾性計算値からはずれ始めている。これは、沈下ひび割れが発生していたために、曲げ応力が比較的小さな段階で、すでに軸方向鉄筋(D16)が大きな引張力を受け持っているためである。これに対して、沈下ひび割れが目視によって確認できなかった(b)に示した供試体については、コンクリートの引張縁のひずみおよび鉄筋のひずみは、曲げ応力度が4.5~5.0N/mm²に達するまで弾性計算値とよく一致している。

従って、本実験方法によって、沈下ひび割れの発生の程度を、曲げひび割れ発生応力度を使い、定量的に評価することが可能であると考えられる。

本研究では、(a)に示したように、コンクリートのひずみに急変点が認められない場合、コンクリート引張縁のひずみが200 μ に達した応力度および鉄筋のひずみの変化を考慮して、曲げひび割れ発生応力度を算定した。この理由は、沈下ひび割れを発生していないRCはりについても、一般に引張縁のひずみが200 μ 程度に達すると、曲げひび割れが発生すると考えられるためである。

4. 沈下ひび割れに及ぼす各種要因の影響

本実験で得られたデータに、これまで著者らが行った既往の実験データ^{5),6)}を交えながら考察を加える

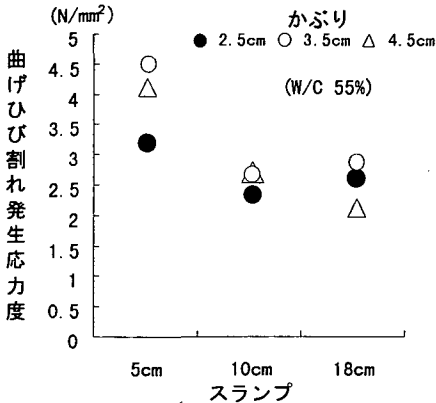


図-6 曲げひび割れ発生応力度に及ぼすスランプの影響

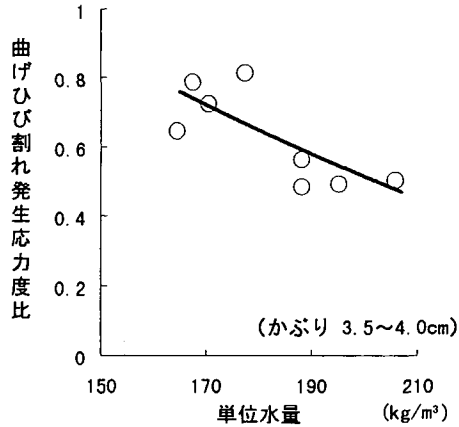


図-7 単位水量と曲げひび割れ発生応力度比の関係

ものとする。なお、以下の図では、本実験データと既往の実験データを比較するために、曲げひび割れ発生応力度比を縦軸に使用したものがあ。曲げひび割れ発生応力度比とは、曲げひび割れ発生応力度を各配合におけるコンクリートの曲げ強度試験値で除したものである。さらに、ここで示す各供試体には、タンピングを行っていない。

(1) かぶり

図-4は、同一スランプで水セメント比がそれぞれ55%および65%の供試体の曲げひび割れ発生応力度を、コンクリートのかぶり別に示した図である。いずれの水セメント比でも、かぶりが小さいほど曲げひび割れ発生応力度は小さくなる傾向を示している。これは、コンクリートのかぶりを小さくすることにより、鉄筋上部とその両側のコンクリートの相対的な沈下量の差が大きくなることから、鉄筋上部のコンクリートの引張応力が増加したためである¹⁾。また、水セメント比が55%のコンクリートを用いたRCはりの方が65%のコンクリートを用いたRCはりよりも曲げひび割れ発生応力度は小さくなっている。この理由は、図-1で示したように最終ブリーディング量がほぼ同程度であることから、沈下量による影響よりも、後述するように、各コンクリートの変形性能が関係しているものと思われる。

(2) ブリーディングの影響

一般に沈下ひび割れは、ブリーディング量が多いコンクリートに発生しやすいとされている。そこで、既往の実験データ^{5), 6)}を併せて、ブリーディング量と沈下ひび割れの関係を調べた。ただし、膨張材による影響を除外するため、膨張材を使用しない配合とした。

図-5は、ブリーディング量と曲げひび割れ発生応力度比の関係を示す。図-5より、ブリーディング量

が増加すると曲げひび割れ発生応力度比が低下する傾向が現れている。そして、ブリーディング量が0.05から0.15cm³/cm²に増加すると、曲げひび割れ発生応力度比はおよそ30%減少している。一般に、コンクリートの沈下量は、特にブリーディング量が増加すると増加すると考えられる。そして、沈下量が大きくなるほど、鉄筋上部のコンクリートに作用する引張応力が増加して、その位置の曲げひび割れ発生応力度が減少し、作用する引張応力が大きくなりすぎると結果的にコンクリートに沈下ひび割れが発生する。したがって、本研究においても、ブリーディング量が多いコンクリートほど、沈下ひび割れの発生が顕著になることを確認できた。

(3) コンクリートの配合

沈下ひび割れは、一般にブリーディングによる沈下量の影響を大きく受けるが、コンクリートの変形追従性の影響も大きいと考えられる^{2), 3), 4)}。この場合の変形追従性とは、鉄筋上部のコンクリートに引張応力がほとんど作用すること無く、コンクリートが鉄筋の両側にスムーズに流れることである²⁾。したがって、沈下量が同じでも変形追従性が小さいコンクリートほど、沈下ひび割れが発生しやすいと考えられる。経時的に変化するコンクリートの変形追従性を定量化することは、困難と思われるので、ここでは、スランプおよび水セメント比が沈下ひび割れに及ぼす影響を調べてみた。図-6に、スランプと曲げひび割れ発生応力度の関係を示す。各かぶりにおいて、スランプが5cmから10cmへ増加すると曲げひび割れ発生応力度は、著しく減少している。スランプが増加すると、フレッシュコンクリートの流動性は大きくなり、変形追従性は向上するが、打込み後、時間の経過に伴いコンクリートの流動性は失われ、変形追従性は低減する。

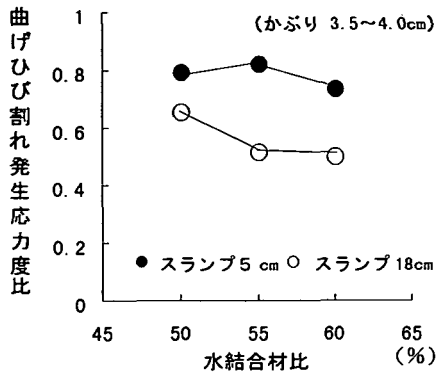


図-8 水結合材比と曲げひび割れ発生応力度比の関係

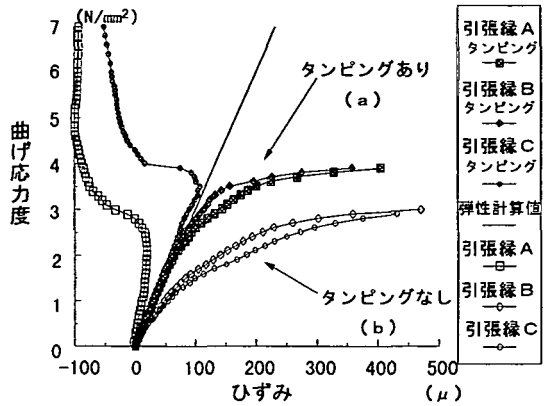
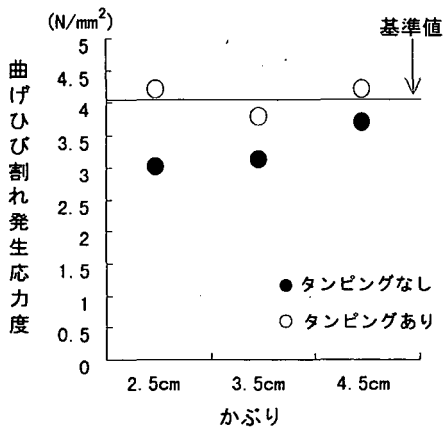
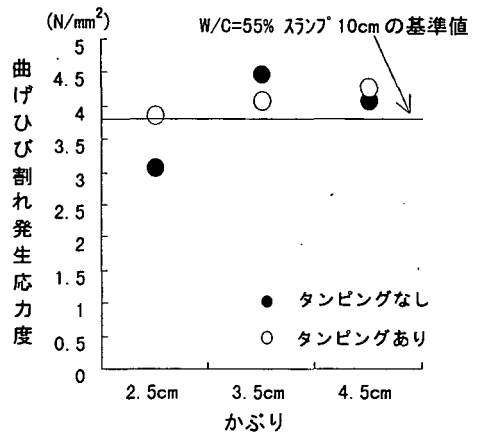


図-9 タンピングの有無が曲げ応力度とコンクリートの引張線ひずみの関係に及ぼす影響(かぶり 4.5cm)



(a) W/C=65% スランプ 10cm



(b) W/C=55% スランプ 5 cm

図-10 曲げひび割れ発生応力度に及ぼすタンピングの影響

したがって、この場合、フレッシュコンクリートの流動性状が沈下ひび割れに及ぼす影響よりも、スランプを大きくするために増加した単位水量によって、比較的多量のブリーディングが発生したことによる悪影響の方が大きくなったと考えられる。その裏付けとして、図-7に単位水量と曲げひび割れ発生応力度比の関係を示す。この図より、単位水量の増加に伴い、曲げひび割れ発生応力度比は明らかに減少する傾向が現れている。

一方、スランプが10cmおよび18cmでは、各かぶりにおいて、曲げひび割れ発生応力度は同程度と考えられる。これは、ブリーディング量の増加に伴う沈下による悪影響を、流動性の増加による変形追随性の向上によって相殺したために、沈下ひび割れの発生が同程度になったと推察される。

図-8に、水セメント比と曲げひび割れ発生応力度比の関係を示す。既往のデータ^{5),6)}も併せて示した。スランプが5cmの場合、水セメント比を55%から60%へ増加させると、曲げひび割れ発生応力度比の減少は大きくなっている。一方、スランプが18cmの場合、水セメント比を50%から55%へ増加させると曲げひび割れ発生応力度比の減少は大きくなっている。また、4.(1)で示したように、スランプが10cmの場合、水セメント比を55%から65%へ増加させると、曲げひび割れ応力度は逆に増加していた。このように、水セメント比が沈下ひび割れの発生に及ぼす影響については、スランプによって異なる傾向を示しており、本研究の範囲では明確ではない。したがって、今後、沈下量の他に流動性および粘性などにも考慮して考察する必要がある。

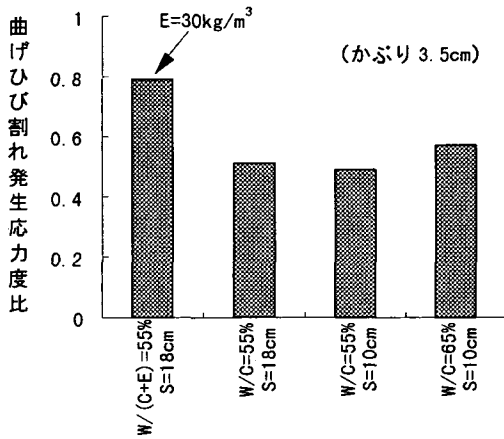


図-11 曲げひび割れ発生応力度比に及ぼす膨張材の影響

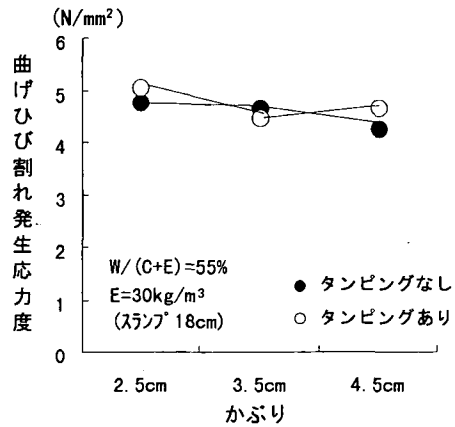


図-12 曲げひび割れ発生応力度に及ぼす膨張材の影響

5. 沈下ひび割れの修復を目的としたタンピングの効果

一般に、打込み後に行うタンピングによって、沈下ひび割れを修復できると考えられている。そこで、沈下ひび割れに対するタンピングの効果を図-9に示す。図-9は、同じ配合(W/C=55%, スランプ:18cm)の供試体における、ブリーディングが終了した直後にタンピングを行った(以後、「タンピングあり」)供試体(a)と、タンピングを行わなかった(以後、「タンピングなし」)供試体(b)についての、曲げ応力度とコンクリート引張縁のひずみとの関係を比較した例である。なお、これらの供試体については、タンピングを行う前に上部コンクリートに、写真-1に示したような軸方向に対して垂直に配置した鉄筋に沿う沈下ひび割れが目視により確認できた。図-9より、「タンピングあり」の供試体(a)は、「タンピングなし」の供試体(b)に比べて、明らかに高い曲げ応力度まで、ひずみは弾性計算値に沿って変化している。従ってこの場合、タンピングによって沈下ひび割れが修復されていると考えられ、これまでの知見が確認された。

図-10(a),(b)は、「タンピングあり」または「タンピングなし」が曲げひび割れ発生応力度に及ぼす影響を、それぞれ同一配合のコンクリートに対してかぶり別に示した図である。ただし、図における基準値とは、断面諸元の同じRCはりを用いて、打込み面を圧縮縁として曲げ強度試験を行い求めた、打込み面の反対側の下面の曲げひび割れ発生応力度のことで、沈下ひび割れの影響を受けない場合の曲げひび割れ発生応力度値である。また、この基準値と比較することにより、コンクリート構造物の初期欠陥である自己収縮、乾燥収縮による曲げひび割れ発生応力度の低下と沈下ひび割れによる低下を切り離すことが可能となる。

W/C=65%において、「タンピングなし」では曲げひび割れ発生応力度は基準値より小さい値であった。タンピングによって、いずれのかぶりでも曲げひび割れ発生応力度は向上する傾向が見られ、曲げひび割れ発生応力度が沈下ひび割れの影響を受けないRCはりの基準値に近づいている。従って、タンピングにより、鉄筋上部の沈下ひび割れがほぼ完全に修復されたと考えられる。

スランプが5cmの供試体では、かぶりが2.5cmの場合だけ、タンピングを行うことによって曲げひび割れ発生応力度は増加しており、沈下ひび割れに対するタンピングの効果が現れている。これに対して、かぶりが3.5cmまたは4.5cmの場合、タンピングの影響は認められない。これは、かぶりが2.5cmの場合と比較して相対沈下量が小さく、打込み面であるコンクリートの引張縁が沈下ひび割れの影響をほとんど受けていないために、「タンピングなし」でも曲げひび割れ発生応力度が基準値に達していることが理由として考えられる。

スランプが5cmの供試体については、いずれのかぶりにおいても、その上部コンクリート表面には沈下ひび割れは確認されなかった。しかし、かぶりが2.5cmの場合では、タンピングにより沈下ひび割れが修復されたことが、曲げひび割れ発生応力度の増加によって示された。同様の現象が、W/C=65%のかぶりが4.5cmの供試体においても現れた。これらは、表面に沈下ひび割れが現れていなくとも、コンクリート内部に沈下による潜在的欠陥が存在していたことを示唆する。

6. 膨張材の効果

膨張コンクリートは、一般にコンクリートの欠点である乾燥収縮などを低減させたり、ケミカルプレストレスを与える目的で使用されている¹⁰⁾。本研究では、

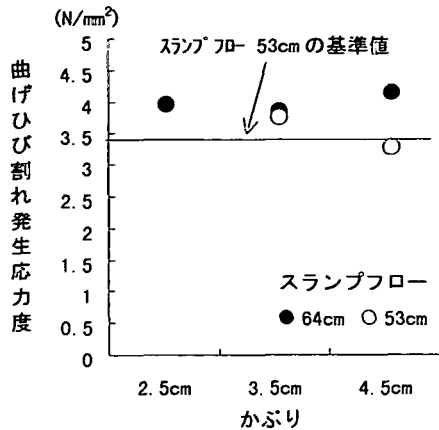


図-13 高流動コンクリートの曲げひび割れ発生応力度

コンクリート構造物の初期欠陥の原因となる自己収縮や乾燥収縮の低減のみならず、その膨張効果により、沈下ひび割れの原因および潜在的欠陥となる鉄筋上部のコンクリートに発生する引張応力の低減を目的として、膨張材の使用効果を調べた。

図-1に示すように、単位量あたり $30\text{kg}/\text{m}^3$ のセメントを膨張材で置換することにより、同じ単位水量をもつ膨張材を用いない普通コンクリートに比べて、ブリーディング量が減少する傾向が見られた。特に、目標スランプが 18cm で単位水量が $207\text{kg}/\text{m}^3$ の場合に、その差は顕著である。そこで図-11に、スランプが 18cm の場合の膨張材の使用効果を示すため、同スランプの普通コンクリートおよびブリーディング量が同程度の普通コンクリート ($W/C=55, 65\%$) との曲げひび割れ発生応力度比の比較を示す。ただし、かぶりは 3.5cm 、タンピングは「なし」とする。

図-11において、膨張材の使用による乾燥収縮の抑制効果¹⁰⁾の影響も含めて、全ての場合で曲げひび割れ発生応力度比が最大3割程度増加しており、膨張材の使用効果が顕著に現れている。

図-12に、 $W/(C+E)$ が 55% 、単位膨張量(E)が $30\text{kg}/\text{m}^3$ 、スランプが 18cm の場合の曲げひび割れ発生応力度を示す。図において、いずれのかぶりでも、タンピングの有無による曲げひび割れ発生応力度の差はほとんど現れていない。また、かぶりによる曲げひび割れ発生応力度の差も少ない。これは、膨張材の使用により、沈下ひび割れの原因および潜在的欠陥となる鉄筋上部のコンクリートに発生する引張応力が低減され、曲げひび割れ発生応力度に及ぼす沈下ひび割れの悪影響を除外することができたためであると考えられる。

本研究の範囲内で、膨張材の使用による沈下ひび割れおよびその引張応力の抑制効果は、タンピングと同等もしくは、初期欠陥の影響を受けない分、それ以上であるとえられる。

7. 高流動コンクリートの曲げひび割れ発生応力度

図-13に、高流動コンクリートの曲げひび割れ発生応力度をかぶり別に示す。ただし、図における基準値とは、打込み面を圧縮縁とすることにより、沈下ひび割れの影響を受けない、スランプフローが 53cm 、かぶりが 2.5cm のRCはりの曲げひび割れ発生応力度値である。

両スランプフローとも、かぶりに関係なく、曲げひび割れ発生応力度は基準値と同等であり、沈下ひび割れおよび沈下による潜在的欠陥は発生しないと考えられる。このことは、高流動コンクリートの優れた変形性能によるものとも考えられるが、本研究で作製した高流動コンクリートはブリーディングをほとんど生じなかったため、その影響も大きいと考えられる。高流動コンクリートの沈下ひび割れに及ぼす変形性能の影響については、今後さらに詳しく調べる必要がある。

表-3に示すように、高圧縮強度、高曲げ強度でありながら、図-13に示す曲げひび割れ発生応力度は普通コンクリートと大きく変わらない値であった。この理由としては、表の曲げ強度試験値は水中養生直後のものであるのに対し、RCはりは載荷準備などの関係から、1日間の実験室内での乾燥を受けているためと考えられる。これは、別の目的で行った実験結果からも推察される。すなわち、本研究で用いた高流動コンクリートと普通コンクリートに対して、所定の水中養生後、1日間の実験室内における乾燥の後、曲げ強度試験を行った。その結果、それぞれの水中養生直後に測定した曲げ強度試験値と比較すると、普通コンクリートにおいても乾燥による曲げ強度の低下は生じていたが、高流動コンクリートの曲げ強度の低下は著しく、結果的に普通コンクリートの曲げ強度試験値と同程度であった。したがって、本研究で用いた高流動コンクリートは、粉体量が多くコンクリートに占めるセメントペーストの割合が多いことなどから、普通コンクリートよりも乾燥の影響を大きく受けたと考えられる。なお、高流動コンクリートは、予めブリーディングの発生が少ないと予想されたために、RCはりに対して、コンクリートの打込み直後から、打込み面を濡れた布で覆うことによって、初期の乾燥を防いだ。

粉体系の高流動コンクリートでは、粉体の占める割合が多いことから、収縮に対する更なる研究が必要であるが、本研究の範囲内では、高流動コンクリートは優れた流動性と材料分離抵抗性を併せ持ち、コンクリートの初期欠陥である沈下ひび割れに対しても十分な抵抗性を持ち合わせていると考えられる。

8. まとめ

本研究では、沈下ひび割れの発生程度を、RCはりの曲げ強度試験により評価し、コンクリートの配合および鉄筋のかぶり、沈下ひび割れに及ぼす影響を考察した。また、タンピングおよび膨張材による沈下ひび割れの修復および防止効果を評価した。さらに、現在、研究開発および実用化の進んでいる流動性の優れた締固め不要の高流動コンクリートに対しても、沈下ひび割れの影響を検証した。

本研究の範囲内で得られた結果をまとめると、以下のようなになる。

- (1) RCはりの曲げ強度試験により、沈下ひび割れの発生程度を定量的に評価することが可能である。
- (2) ブリーディングの多いコンクリートほど、沈下ひび割れを起こしやすい。また、鉄筋のかぶりが小さいほど、コンクリートは沈下ひび割れを起こす傾向がある。
- (3) 表面に沈下ひび割れが認められなくても、コンクリート内部には沈下に起因する潜在的欠陥が存在すると考えられる。
- (4) タンピングは、沈下ひび割れの修復に有効であることが確認された。
- (5) 膨張材を使用することにより、タンピングと同等もしくはそれ以上の効果が得られる。なお、膨張材を使用したコンクリートは、沈下ひび割れの悪影響が小さいため、タンピングの効果はほとんど認められなかった。
- (6) 高流動コンクリートは、良好な流動性と優れた材料分離抵抗性を有し、締固めを行わなくてもブリーディングを起こさずに型枠の隅々まで充てんされた。したがって、沈下ひび割れの発生を抑制できると考えられる。

謝辞：本研究は、文部省科学研究費補助金（総合研究

(A)課題番号05302036)の一部を受けて行いました。ここに付記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) Dakhil, F.H., Cady, P.D. and Carrier, R.E. : Cracking of Fresh Concrete as Related to Reinforcement, *ACI Journal*, pp. 421-428, August 1975.
- 2) 小沢一雅, 大西精治, 山崎実: 沈下ひび割れの定量化に関する研究, 第39回土木学会年次学術講演会講演概要集V, pp. 56-57, 1984.
- 3) 源島良一, 徳光善治, 牧角龍憲: 沈みひび割れに関する実験的研究, 第37回土木学会年次学術講演会講演概要集V, pp. 215-216, 1982.
- 4) 源島良一, 徳光善治, 牧角龍憲: 沈みひび割れに関する実験的研究—断面変化部の流動性状について, 第38回土木学会年次学術講演会講演概要集V, pp. 215-216, 1983.
- 5) 川島俊美, 辻幸和: 沈下ひび割れがコンクリートの曲げ性状に及ぼす影響, 第18回土木学会関東支部技術研究発表会講演概要集V, pp. 272-273, 1991.
- 6) 川島俊美, 辻幸和: 沈下ひび割れを有するRCはりの曲げ性状, 第19回土木学会関東支部技術研究発表会講演概要集V, pp. 316-317, 1992.
- 7) 岡村 甫, 前川宏一, 小沢一雅: ハイパフォーマンスコンクリート, 技報堂出版, 1993.
- 8) 名和豊春, 深谷泰文, 鈴木清孝, 柳田克巳: 高ピーライト系セメントを用いた高流動・高強度コンクリートに関する研究, コンクリート工学年次論文報告集, Vol. 15, No. 1, pp. 143-148, 1993.
- 9) 杉本 貢: 高流動化のための材料—化学混和剤—, コンクリート工学, Vol. 32, No. 7, pp. 64-69, 1994.
- 10) 辻 幸和: 乾燥収縮を受けたケミカルプレストレストコンクリートはりの曲げ性状, 膨張コンクリート設計施工指針, 土木学会コンクリートライブラリー第75号, pp. 147-163, 1993.

(1996. 6. 6 受付)

A STUDY ON SETTLEMENT CRACK FOR REINFORCED CONCRETE STRUCTURES

Takafumi SUGIYAMA, Yukikazu TSUJI, Chikanori HASHIMOTO and Toshiyuki KUROIWA

This paper presents experimental results for the effect of cover depth, mix proportions, and tamping on the development of settlement cracks in reinforced concrete structures. Flexural strength tests were conducted with a reinforced concrete beam that contains simulating settlement cracks in the direction perpendicular to the longitudinal bar. Settlement cracks were evaluated quantitatively with the flexural stress at which flexural cracks formed propagating from the settlement cracks (flexural cracking stress). A settlement crack was found to develop significantly with the increase of bleeding and decreased covers. In addition, it was found that tamping was effective to reduce settlement cracks. Furthermore, self-placing concrete and expansive concrete could prevent the development of settlement cracks.