

RC 巻き立てコンクリートのひび割れに関する考察

橋場 盛

Consideration on crack of RC rolled around the existed concrete

Mori HASHIBA

Reinforced concrete which rolled around the existed one is typical method of repair and strengthening for concrete member. However the cases damaged by initial cracks have been seen sometimes in construction site. As a result restrained by existed concrete, these cracking on new one have been initiated between some months after concrete placing. In this study, the effect on place and time of construction based on the operated example were considered analytically, and a new useful method which would be not caused initial cracks was proposed.

Keywords: concrete, initial crack, dry shrinkage, moisture transfer, restrained stress

1. はじめに

兵庫県南部地震(M7.2, 1995 年)による震災覆旧工事, その後実施された耐震補強工事で橋脚等, RC 柱部材の補強として採用された工法に, RC コンクリート巻き立て工法がある. 本工法は, 既存の RC 柱部材をその外側から新たに薄い RC 部材(厚さ 25cm 程度)で巻き立てるもので, 既設部と一体となって曲げやせん断に対する耐力および変形性能を向上させることを目的とするものである.

その設計・施工に関する指針や要領が, すでに数多くまとめられている^{1,2)}. 使用するコンクリートには収縮の少なく, かつ高い流動性が求められ, 施工の概要は次のようである.

- 1) 新旧コンクリートの一体性を確保するために, 既設コンクリート面をブラストあるいはチップングして凹凸を付け, アンカー筋を既設面に取付ける.
- 2) 曲げ補強用の軸方向鉄筋のアンカーを既設フーチングに必要な応じて埋込み, せん断補強としての帯鉄筋と合わせて鉄筋組立てを行った後, 型枠を設置する.
- 3) コンクリート打設直前に既設コンクリート面を湿潤な状態にし, 十分に締固めながらコンクリートを打設し, その後ブリージング処理やプラスチックひび割れ対策を行う. コンクリート打設はできるだけ施工目地を設けずに, (層打ちしながら)連続打設による 1 回打ちとする.
- 4) 数日間, 散水等による湿潤養生を行う.

多数の施工実績があり, その多くが良好な施工結果を示しているが, 一部に施工不良と思われる欠陥(締固め不良, コールドジョイントなど)が生じて修補したものや初期ひび割れが生じたも

* 土木環境工学科

のが見られる．これら欠陥や損傷の要因として，薄い部材厚，狭隘な片側からの施工など施工条件に起因したものと，施工の場所や時期などの環境条件に起因したものが考えられる．

本研究は，巻き立てコンクリートの初期ひび割れ(主に収縮によるひび割れ)に着目し，実施例に基づいて，その施工環境条件が及ぼす影響を解析的な手法を用いて明らかにするとともに，経済的で簡便なひび割れ対策を提案することを目的とするものである．

2. コンクリートの収縮に伴う応力とその解析方法

コンクリートは，セメントペーストをバインダーとして骨材を接着させたもので，セメントと水との水和反応によって生成されたセメントペースト硬化物は，無数の空隙を含む多孔体である．空隙から水分が失われていくと，セメントペーストは収縮するが，コンクリートの収縮には，①乾燥収縮，②硬化収縮，③自己収縮，さらに④炭酸化(中性化)によるものがある．

一般的なコンクリートでは，収縮の原因は上記①が主で，④も①に含められて議論され，単に収縮と呼ぶことが多い(ここでも以下，そのように記す)．コンクリートの乾燥収縮はセメントペーストの乾燥収縮によるものであるが，それよりかなり小さく，0.06～0.09%程度である³⁾．

乾燥収縮の発生メカニズムについては幾つかの仮説があるが，明らかになっていない³⁾．しかし，マクロ的に見れば，セメントペースト内部と環境との湿度勾配に起因するシーページ効果(seepage effect)によるものと考えられ⁴⁾，コンクリートの内部と取り巻く周辺環境との湿度勾配に起因したコンクリート中の水分の移動とみなせる．

通常の大気にコンクリートが接する場合，コンクリート中の含水状態は周辺大気の湿度との平衡状態に向かう過程であって，一般にコンクリート中は不飽和状態となっている．水分は気体(水蒸気)の形態で大気中に逸散する．ただし，コンクリート内部では，液状(水)の形態でも移動すると考えられている⁵⁾．この移動解析の支配方程式として線形あるいは非線形な拡散方程式を用いた研究がなされ^{6,7)}，乾燥過程における拡散係数と含水率の関係等が実験および解析的に明らかにされ^{8,9)}，応用されている¹⁰⁾．

このように乾燥過程におけるコンクリート中の水分量(含水量)は一様ではなく，不均一な分布状態の下で収縮が生じる．コンクリート中の任意の断面内の部位が，個々の含水状態に従って収縮変形するとしても，その断面全体を考えると，平面保持の仮定に従った変形を示すと考えられる(図-1 参照)．

その際，個々の部位に断面全体としての変形と個々の変形との差による変形差が生じる．この仮想的な変形差，言い換えると，ひずみ差によって応力が発生する．この応力は内部拘束応力と呼ばれている．鉄筋など断面内に配置された収縮しない材料によっても拘束されて応力が生じる．これも内部拘束応力と呼ばれているが，ここでは対象にはしていない．

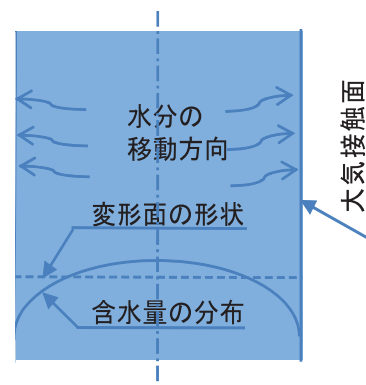


図-1 部材断面の変形

さらに、平面保持の仮定に従った部材断面全体としての収縮変形が、構造系の外部との境界で拘束されると、拘束に伴う断面力によって応力が生じる。この応力は外部拘束応力と呼ばれる。

上述の内部拘束に対する解析は、水分移動解析と応力解析からなる。水分移動解析は拡散方程式を用いて行うが、一般には拡散係数 $D(x,y,z)$ の非線形性を考慮して非線形方程式が用いられている。ここでは、拡散係数 $D(x,y,z) = \text{const.}$ とみなして目的とする時間での含水率 $R(x,y,z,t)$ を仮定し、計算結果としての平均含水率が仮定値と一致するように繰返すことで線形方程式を用いる。

2次元的な拡がりのある場合、コンクリート中の含水率 R を空間座標 (x,y) および時間 (t) の関数とすると(1)式で、さらに差分形式で表わすと(2)式のようなになる。

$$\frac{\partial R}{\partial t} = D \left(\frac{\partial^2 R}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 R}{\partial y^2} \right) \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$R(i,j,p+1) = \frac{1}{4} \{R(i+1,j,p) + R(i-1,j,p) + R(i,j+1,p) + R(i,j-1,p)\} \quad \dots\dots\dots (2)$$

ここに、 $x = i\Delta x = i\Delta L, m = L/\Delta L, i = 0, 1, \dots, m$ m ; 分割数

$y = j\Delta y = \Delta L, n = B/\Delta L, j = 0, 1, \dots, n$ n ; 分割数

$t = p\Delta t, p = t/\Delta t, p = 0, 1, \dots, p$ p ; 分割数

$$D \frac{\Delta t}{\Delta L^2} = 1/4$$

上式の解を以下の初期条件、境界条件の下で求める。

初期条件 ; $t = 0 ; R = 100 \%$

$$\text{境界条件 ; } D \frac{\partial R}{\partial n} + f(R_s - R_0) = 0 \quad \dots\dots\dots (3)$$

ここに、 R_s ; コンクリート表面の含水率

R_0 ; 外気のコンクリート表面に接する面の含水率

f ; 表面係数

なお、コンクリート表面(外気接触面)は水分伝達境界であるが、仮想部材厚(同一のコンクリートに置換して周囲の含水率に一致させるのに必要なコンクリート厚)を設けて水分固定境界とみなす(図-2 参照)。仮想部材厚 ΔL は次式で求める。

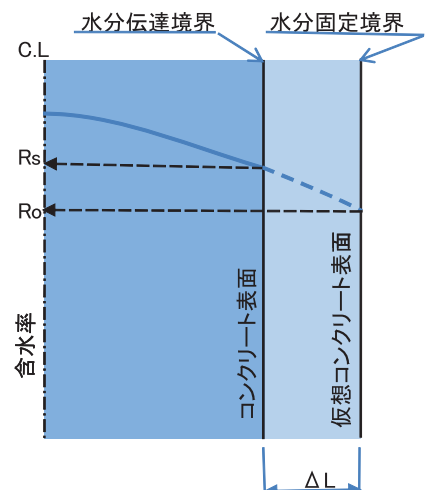
$$-D \frac{R_0 - R_s}{\Delta L} \cong f(R_s - R_0) \quad \therefore \Delta L = \frac{D}{f} \quad \dots\dots\dots (4)$$

応力解析は、水分移動解析で求められた計算点の含水率 R と断面の平均含水率 \bar{R} 、さらにそのときの断面内の収縮ひずみ $\epsilon_{cs}(t, t_0)$ を用いて次式による。おな、クリープによる応力緩和の影響を考慮している。

$$\sigma_i = E_c(\bar{R} - R) \frac{\epsilon_{cs}(t, t_0)}{\bar{R}} \quad \dots\dots\dots (5)$$

ここに、 σ_i ; 含水率 R の計算点での内部拘束応力

$$E_c ; \text{コンクリートの有効ヤング係数, } E_c = \frac{E_c(t)}{1 + \phi(t, t_0)/2}$$



$E_c(t)$; 材齢 t (日)でのコンクリートのヤング係数

$\phi(t, t_0)$; 材齢 t_0 (日)で収縮開始したときの材齢 t (日)でのクリープ係数

外部拘束によって生じる応力は、当該構造体を 2 次元的な拡がりのある平面問題と考え、ひずみ分布が平面的な状態(平面ひずみ場)とみなして有限要素法(FEM)によって解析する。

3. 解析の結果および考察

3.1 検討要因およびケース

本研究の対象構造物は、NEXCO 中日本が管理する北陸自動車道のうち、石川県小松市安宅町地内の安宅高架橋 P2 橋脚である¹¹⁾。橋脚は RC 二柱式で、柱断面の形状は 1300×1400mm の矩形、脚高は 5200mm である。なお、上部構造は単純 RC 中空床版である。

耐震補強は 250mm の RC 巻き立て(軸方向鉄筋 D22ctc300mm, セン断補強鉄筋 D16ctc300mm, かぶり厚 83mm)で、補強後の断面は 1800×1900mm の矩形形状である。施工の概要は以下のとおりであるが、使用されたコンクリートは膨張材を用いた収縮補償タイプで、その示方配合は表-1 のようである。

- 1) スチールショットブラスト(100kg/m²)によるコンクリート表面処理を実施後、アンカーおよび鉄筋組立がなされた。
- 2) 夏期の打設であるが、打設前に十分に散水し、ポンプ車を用いて 7 層打ち(最上層 50cm)で高周波棒状バイブレーター(φ 50mm)、壁面バイブレーターで締固めがなされた。
- 3) 天端は灌水させ、5 日間散水養生(型枠存置)された。

表-1 コンクリートの示方配合

W/C %	s/A %	単位量(kg/m ³)						備考
		水	セメント	膨張材	細骨材	粗骨材	混和剤	
56.3	46.9	158	251	30	850	978	2.388	高性能AE減水剤
Amax : 25mm		S.L. : 15±2.5 cm		Air : 4.5±1.5 %		f'ck : 24N/mm ²		

巻き立てコンクリートにひび割れが確認されたのは材齢 7 か月であることから、コンクリートの収縮によるものと考えられる。その大きさをコンクリート標準示方書の予測式¹²⁾で推測することとする。同式では、周辺環境の相対湿度(RH)、コンクリート中の水量(W)、乾燥開始時の材齢(t_0)、乾燥を受けた期間(t)、構造物の体積と外気に接する表面積の比(V/S)が、その大きさを決定する要因として挙げられている。このことから、以下のように設定した。

- 1) 湿度は、当該地に近い金沢の年平均湿度が 73%RH(1971～2000)¹³⁾であることを参考に、75%RH を標準とし(case-1)、70 および 80%RH をそれぞれ case-2, case-3 とする。
- 2) 水量(W)は表-1 の単位量とする。
- 3) 乾燥開始時の材齢(t_0)は施工記録より 6 日とする。
- 4) 乾燥を受けた期間(t)を変数として、収縮の進行を考慮する。

- 5) 施工後30年以上経過した既設コンクリート中の水分量(含水量)は周辺大気と平衡状態にあると考えられる。したがって、既設コンクリートと接する面も外気と接する面とみなしえる。なお、対象部材は柱状であるので、その中間断面を解析断面とすると、巻立てコンクリートの断面積(A)とその周長(u)との比(A/u)は構造物の体積と外気に接する表面積の比(V/S)に等しい。すなわち、 $V/S \cong A/u = 125\text{mm}$ 。
- 6) 膨張材による有効膨張量を推定する必要がある。その添加量は収縮補償コンクリートとして一般的に用いられる量であることから、材齢5日で 50μ を標準とし(case-A), 0μ をcase-B, 100μ をcase-Cとする。

これらを考慮して収縮ひずみの大きさ(最終値)を求めると表-2のように、また図-3の進行曲線が得られる。同図から、収縮ひずみの大きさは材齢6か月で $-130 \sim -270\mu$ で、最終値の85~87%の範囲にある。

case-A~Cの膨張材による有効膨張量を、図-3の進行曲線に加算することで上記1), 6)の組合せケースを作成すると、表-4に示す9ケースのひずみの最終値が得られる。これらを検討ケースとする。

さらに、水分移動解析に用いる幾つかの関係、すなわち相対湿度RHと含水率R、拡散係数Dと含水率R、表面係数fを表-1の水セメント比を用いて整理すると⁹⁾、表-5、図-4および $f=87.8\text{mm/day}$ となる。

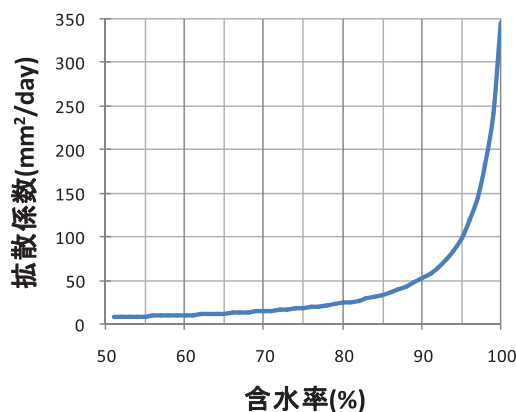


図-4 拡散係数Dと含水率Rの関係

表-2 収縮ひずみの大きさ

	case-1	case-2	case-3
最終値(μ)	-234	-314	-149

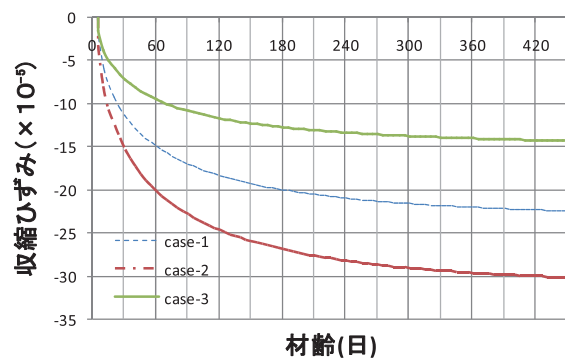


図-3 収縮ひずみの進行曲線

表-4 検討ケースにおける収縮ひずみの最終値

	case-1	case-2	case-3
	-234	-314	-149
case-A (50)	case-1A -184	case-2A -264	case-3A -99
case-B (0)	case-1B -234	case-2B -314	case-3B -149
case-C (100)	case-1C -134	case-2C -214	case-3C -49

上段: 検討ケース, 下段: 最終値(μ)

下段()内: 有効膨張量(μ)

表-5 相対湿度RHと含水率Rの関係

	case-1	case-2	case-3
含水率R(%)	64.7	59.8	70.2
相対湿度RH(%)	75.0	70.0	80.0

3.2 内部拘束応力に関する解析結果

解析は図-5 のように 1/4 モデルを用い、巻き立てコンクリートを対象に要素分割 $\Delta x = \Delta y = 25\text{mm}$ として時間分割 Δt を変化させて行った。

図-6 に解析によってえられたコンクリート材齢と断面内の平均含水率の関係を示す．また，図-7 に case-1 における材齢 6, 9 か月での断面内の含水率の分布を示す．なお，図中の記号 a, b, c の位置を図-5 に示す．

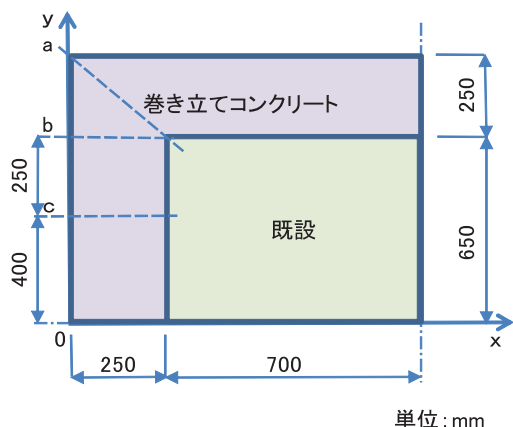


図-5 解析モデルおよび着目部位

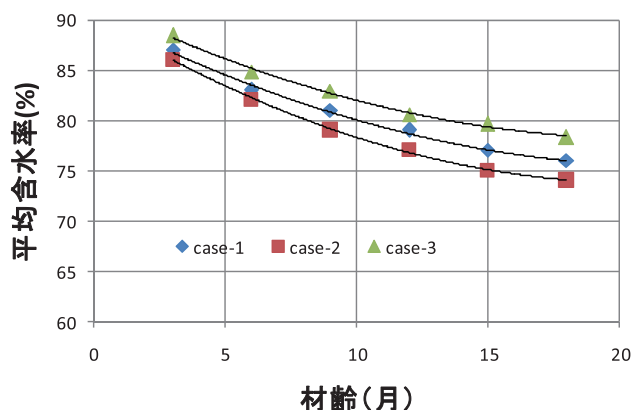
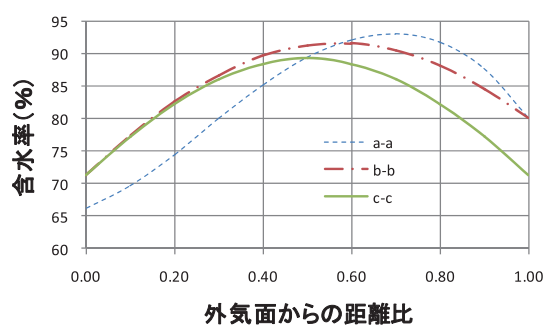
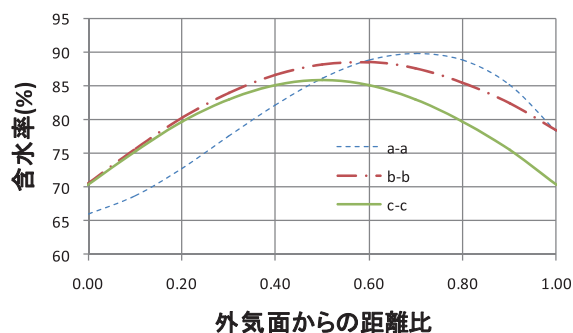


図-6 コンクリート材齢と断面内の平均含水率の関係



a) 材齡 6 か月



b) 材齡 9 か月

図-7 断面内の含水率の分布 (case-1)

case-1 の相対湿度 75%に対応した含水率は約 65%であること(表-5 参照)を考えると、水分の移動距離(V/S)が 125mm と比較的小さいにもかかわらず、図-6 の材齢と含水率の関係から、材齢の進行に伴う含水率の低下が緩やかであることが分かる。材齢 3 か月～9 か月での含水率の低下は 1%/月程度である。しかし、図-7 の断面内の含水率の分布状況から、隅角近傍は両側面への水分の逸散により、早期に水分の平衡状態に達していると言える。また、断面内の含水率の差は材齢の進行とともに小さくなるが、材齢 6 か月では、含水率で 20～30%程度となっている。

case-2, 3 についても、断面内の含水率の分布状況は同様であるが、断面内の含水率の差は、case-1 に比して case-2 では大きく、case-3 では小さくなる傾向を示している。

ひび割れが発生した材齢を 6 か月と仮定して内部拘束応力解析を行った. クリープの影響を考

慮した有効ヤング係数は、近似的に収縮ひずみの1/2に達する材齢において全収縮ひずみが生じると仮定した。その材齢はそれぞれの検討ケースで若干異なるが、材齢28日のクリープ係数¹⁴⁾1.2を用い、さらに圧縮強度 33.8 N/mm^2 に基づいて有効ヤング係数を 16.9 kN/mm^2 とした。

case-1Aの内部拘束応力を求めると、図-8のようになる。発生する内部拘束応力はコンクリートの引張強度($f_t(t)=2.56 \text{ N/mm}^2$)¹⁴⁾に比してかなり小さい。このことから、内部拘束応力のみでひび割れが発生する可能性は低い。最も水分の逸散が大きい隅角部(a-a)の応力が大きいが、部位ごとの差異は少ないと言える。他の検討ケースも含めて、巻き立てコンクリートの表面の応力を部位ごとにまとめて示すと、表-6のようである。発生応力は上述と同様でかなり小さいと言える。なお、同表の長辺中央は最大応力点を示している。

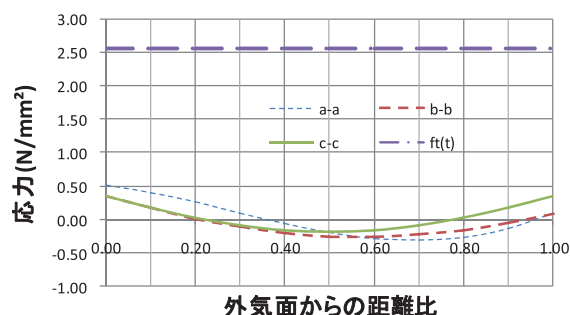


図-8 内部拘束応力の発生状況

(case-1A, 材齢6か月)

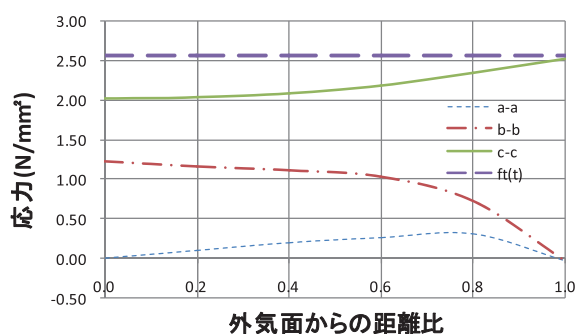
3.3 外部拘束応力に関する解析結果

外部拘束応力に対する解析は、図-5の1/4モデルの巻き立てコンクリートを対象に材齢6か月について行った。コンクリートの材料特性は、クリープの影響を考慮した有効ヤング係数 16.9 kN/mm^2 、ポアソン比0.17とした。

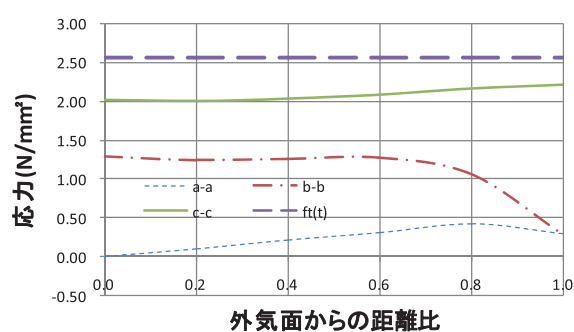
まず、既設コンクリートとの境界面が及ぼす影響を検討した。変位を拘束(固定)した場合(case-I)と、境界面に対する法線方向の変位を拘束し、接線方向のすべり変位を許容した(自由にした)場合(case-II)を考え、case-1Aについて比較した(図-9参照)。巻き立てコンクリートの内部、すなわち境界面付近では差異は認められるが、外気と接する表面付近では差異がないと考えられる。このことから、発生応

表-6 内部拘束応力の解析結果

部位	(N/mm ²)		
	case-1		
	case-A	case-B	case-C
a-a	0.51	0.69	0.34
b-b	0.36	0.48	0.24
c-c	0.36	0.48	0.24
長辺中央	0.36	0.48	0.24
部位	case-2		
	case-A	case-B	case-C
a-a	0.93	1.15	0.72
b-b	0.65	0.80	0.50
c-c	0.65	0.80	0.50
長辺中央	0.65	0.80	0.50
部位	case-3		
	case-A	case-B	case-C
a-a	0.21	0.35	0.08
b-b	0.15	0.25	0.05
c-c	0.15	0.25	0.05
長辺中央	0.15	0.25	0.05



a) case-I



b) case-II

図-9 境界面の影響(case-1A, 材齢6か月)

力に及ぼす既設との境界面の凹凸等，付着性状の影響はそれほど小さくなく，以下 case-I を基本とする．

巻き立てコンクリート表面(外気面)の(引張)応力をまとめて示すと，表-7 のようになる．なお，太文字はコンクリートの引張強度(2.56N/mm²)を上回っていることを示している．同表から，①外部拘束の影響が著しく大きく，②case-A～C の対比によって膨張材の添加による効果，すなわち応力低減の効果もかなり大きいこと，さらに③case-1～3 の比較によって湿度が及ぼす影響も大きいと言える．

表-7 外部拘束応力の解析結果

部位	(N/mm ²)		
	case-1		
	case-A	case-B	case-C
a-a	0.00	0.01	0.00
b-b	1.23	1.66	0.82
c-c	2.02	2.70	1.35
長辺中央	2.42	3.40	1.73
部位	case-2		
	case-A	case-B	case-C
a-a	0.00	0.01	0.00
b-b	1.80	2.21	1.39
c-c	2.96	3.64	2.29
長辺中央	3.81	4.67	2.94
部位	case-3		
	case-A	case-B	case-C
a-a	0.00	0.00	0.00
b-b	0.64	1.05	0.23
c-c	1.05	1.72	0.38
長辺中央	1.35	2.22	0.48

表-8 収縮応力の解析結果

部位	(N/mm ²)		
	case-1		
	case-A	case-B	case-C
a-a	0.51	0.70	0.34
b-b	1.59	2.14	1.06
c-c	2.38	3.18	1.59
長辺中央	2.78	3.88	1.97
部位	case-2		
	case-A	case-B	case-C
a-a	0.93	1.15	0.72
b-b	2.45	3.01	1.89
c-c	3.61	4.44	2.79
長辺中央	4.46	5.47	3.44
部位	case-3		
	case-A	case-B	case-C
a-a	0.21	0.15	0.15
b-b	0.79	1.30	0.28
c-c	1.20	1.97	0.43
長辺中央	1.50	2.47	0.53

3.4 収縮応力に関する解析結果

これまでのコンクリートの収縮に伴う拘束応力を集計すると，表-8 のようになる．施工(膨張材の効果)および環境条件(湿度)の変動によって，ひび割れは巻き立てコンクリートの隅角(a-a)以外の箇所に発生する可能性があると考えられる．

4. 新たなひびわれ対策の提案

これまでの検討から，巻き立てコンクリートは部材厚が薄いために，収縮の進行が早くかつ収縮ひずみが大きいこと，さらに外部拘束の影響を著しく受けることによって，その収縮応力が大きく，ひび割れの発生が十分起こりうる．ここでは，1. で記した新旧コンクリートの一体化を図るためのブラストやチッピング作業に変えてエポキシ樹脂等を既設との境界面に塗布する方法を提案する．このことによって以下のような改善が期待される．

- 1) 境界面がコンクリート中の水分移動に関して水分遮断境界となり，水分移動が外気と接する面のみの方向となる．このことで，水分移動距離が増加して見掛け上の部材厚が増加し，収縮ひずみの大きさが小さくなる．

2) 境界面に軟らかな材料を挿むことで外部拘束を緩和する.

環境条件(case-1, 2)および膨張材の効果(case-A, B)を要因として, ひび割れ対策の効果を検討する. 図-10 に示すように, コンクリート内の含水率の変化は水分移動距離の増加によってさらに緩やかになる. 収縮ひずみの6か月および最終の値を 3.1 の結果と比較して示すと表-9 のように, ひび割れ対策を施すことで, 両者とも case-1 で 35%, case-2 で 51%程度に大幅に減少する.

内部および外部拘束による収縮応力を表-10 に示すが, 表-8 と比較すると 14~51%に減少していることがわかる. 最も収縮応力の大きい case-2B で若干引張強度 (2.56N/mm^2) を上回る程度で, 大きな改善効果が認められる.

エポキシ樹脂による外部拘束の緩和効果について検討した. コンクリートライニングと同様に塗膜厚 $1000\mu\text{m}$, その弾性係数¹⁵⁾を 5.00kN/mm^2 と, また既設コンクリートの特性を弾性係数 24.0kN/mm^2 , ポアソン比 0.17 と仮定して境界面の弾性バネ係数を算定し, 法線方向 17.72 , 接線方向 7.57N/mm/mm^2 とした (case-III). 表-11 に case-2B についての結果を示す. 表-10 に示した case-I に比して若干ではあるが, 増加しており改善効果が見られない. 塗膜厚が薄いことによるものと考えられ, 外部拘束の緩和効果を高めるには, 塗膜厚を厚くするか, より可とう性のある材料を用いる必要がある.

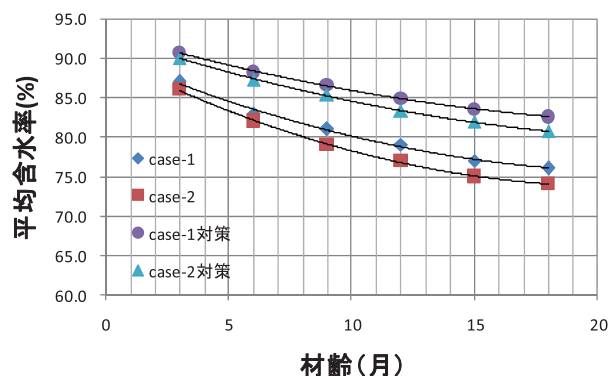


図-10 コンクリート材齢と断面内の平均含水率の関係(ひび割れ対策)

表-10 対策を施した場合の収縮応力

部位	case-1		case-2	
	case-A	case-B	case-A	case-B
a-a	0.08	0.30	0.45	0.70
b-b	0.23	0.80	1.08	1.69
c-c	0.33	1.16	1.54	2.41
長辺中央	0.38	1.34	1.77	2.77

表-9 収縮ひずみの比較

		(μ)	
最終値		case-1	case-2
	対策後	-80	-161
	対策前	-234	-314
	比	0.34	0.51
材齢6か月			
	対策後	-69	-138
	対策前	-200	-270
	比	0.35	0.51

表-11 エポキシ樹脂による収縮応力の緩和効果

		(N/mm ²)	
部位		case-2B	
		case-I	case-III
a-a		0.70	0.70
b-b		1.69	1.70
c-c		2.41	2.42
長辺中央		2.77	2.79

5. まとめ

RC 巻き立てコンクリートの収縮ひび割れの発生に関して施工実施例に基づいて検討し, その要因を明らかにするとともに新たなひび割れ対策を提案した. 本研究によってえられた知見をまとめると以下のようなものである.

1) コンクリートの乾燥収縮はコンクリート中の水分が周辺大気に逸散することによって生じる

と考えられている。本研究の対象構造物である巻き立てコンクリート(厚さ 250mm)では、湿度 70%RH で材齢 3 か月～9 か月での平均含水率の低下は 1%/月程度であった。

- 2) コンクリート中の含水率の不均一性から生じる内部拘束応力は、コンクリート部材厚が薄いために小さく、収縮ひび割れを誘発すると考えにくい。
- 3) 既設コンクリートの拘束による外部拘束応力の影響は著しく、収縮ひび割れを十分に誘発するものと考えられる。
- 4) 施工場所の湿度条件が収縮応力に及ぼす影響は大きく、その変動を考慮した(施工時期を踏まえた)施工計画を立てる必要がある。
- 5) 膨張材による収縮補償の効果は大きく、その効果が発揮できるような施工法を採用する必要(たとえば、型枠の緊結などの工夫)がある。
- 6) 既設面との境界面をエポキシ樹脂等で水分移動の遮断面とすることで、巻き立てコンクリート中の水分の移動距離が増加し、収縮ひずみが大幅に減少して収縮応力も低減する。この改善は上記 4), 5) の施工および環境条件などの要因の変動に十分対応しうる効果があり、経済的で実現可能な収縮ひび割れ対策と考えられる。

参考文献

- 1) ㈱日本道路協会；道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編, H14. 3
- 2) 西日本高速道路㈱；設計要領第二集橋梁保全編, pp. 6-20～6-25, H20.
- 3) 村田二郎他著；コンクリートの科学と技術, pp. 225～244, 山海堂, H8. 3.
- 4) 岡田清他著；フレッシュコンクリートのレオロジー・コンクリートの弾性とクリープ, pp. 115, S56. 5
- 5) 佐藤邦明他；地下空間におけるコンクリート壁内の水分移動に関する基礎研究,
土木学会第 45 回年次講演会概要集第 3 部, pp. 814～815, 1990
- 6) Pickett, G. ; Shrinkage Stress in Concrete, jour. of ACI, Vol. 17, No. 3, pp. 165～195, 1946
- 7) Bazant, Z. P. etc ; Nonlinear Water Diffusion in Nonsaturated Concrete ,
Materials and Structures , Vol. 5, No. 25, pp. 3～20, 1972
- 8) 阪田憲次他；乾燥に伴うコンクリート中の水分の逸散と乾燥収縮に関する研究,
土木学会論文報告集, No. 316, pp. 145～152, 1981
- 9) 秋田宏他；モルタルの乾燥・吸湿・吸水過程における水分移動, 土木学会論文報告集, No. 420, pp. 61～69, 1990
- 10) 岡田次郎他；コンクリート構造物の ASR による損傷およびその補強に関する解析的検討,
コンクリート構造物の補修, 補強, アップグレード論文報告集, Vol. 4, pp. 135～142, 2004. 10
- 11) 中日本高速道路㈱金沢支社；H15 年度北陸自動車道 金沢高架橋中耐震補強工事報告書, H17. 10
- 12) ㈱土木学会；2007 年制定コンクリート標準示方書設計編, pp. 45～49, H20. 3
- 13) 国立天文台編；理科年表 平成 14 年, pp. 198, H13. 11.
- 14) ㈱土木学会；上記 11), pp. 340～341
- 15) Private communication

(平成 23 年 3 月 31 日受理)