

論文 コンクリートの体積変化が RC はりのせん断耐力に及ぼす影響

松下 翔太*1・半井 健一郎*2

要旨: 本研究では、コンクリートの体積変化が RC はりのせん断耐力に及ぼす影響を載荷実験によって検討した。その結果、コンクリートの収縮・膨張によって、斜めひび割れ発生荷重が低下・増加することをあらためて確認した。また、斜めひび割れ発生後のせん断補強筋によるせん断力の負担分は、コンクリートが収縮する場合や無収縮の場合にはほぼ一定であったが、膨張コンクリートを用いた場合には、膨張量の増加とともに増加傾向であった。また、斜めひび割れ発生荷重を、二羽式に等価引張鉄筋比または軸力を考慮した計算値と実験値を比較したところ、特に等価引張鉄筋比で推定精度が向上することが示された。
キーワード: せん断耐力, 乾燥収縮, 収縮ひび割れ, 膨張コンクリート, 評価式

1. はじめに

近年、骨材品質の低下等によって、本来ならばコンクリートの収縮を拘束するはずの骨材自体が収縮してしまう例が報告されている¹⁾²⁾。これらの要因からコンクリートに過剰な収縮が発生していることに加え、高耐震化のための鉄筋量の増大によって構造物内の拘束力が大きくなり、部材内部に収縮応力が蓄積され、コンクリートの見かけの引張強度や構造体のひび割れ発生荷重、耐力に影響を与えている。

収縮が構造性能に与える影響については、近年、研究が進められており、河金・佐藤³⁾⁴⁾らは、高強度 RC はりのせん断耐力が自己収縮によって低下することを明らかにし、その影響程度を等価引張鉄筋比の概念によって精度良く評価できることを示した。また、著者らのこれまでの研究⁵⁾では、乾燥収縮によってコンクリートに生じた引張応力やひび割れが、普通強度 RC はりの斜めひび割れ発生荷重に与える影響を検討し、等価引張鉄筋比での評価が可能であることを示した。同様の研究は、宮本・佐藤らによっても行われている⁶⁾。

一方で、収縮の影響を緩和・防止する方法の一つとして膨張コンクリートの活用がある。初期段階でのコンクリートの膨張による収縮補償のほか、積極的にケミカルプレストレスを導入することもできる。ケミカルプレストレスの導入によってせん断耐力が増加することが報告されており、膨張コンクリートにおけるせん断耐力

評価式⁷⁾⁸⁾が提案されている。しかしながら、収縮と膨張というコンクリートの体積変化を統一的に評価した研究は少ない。

そこで本稿では、著者らのこれまでの研究⁵⁾にケミカルプレストレスを導入した RC はりのデータを追加することで、収縮から膨張までの体積変化がせん断耐力に与える影響を横断的に検討することを目的とした。また、体積変化がせん断耐力に与える影響の程度を、等価引張鉄筋比だけではなく、軸力の観点からも評価し、それら算定式の適用性を検討することとした。

2. 実験概要

2.1 コンクリートの配合

本実験で作製した RC はりのコンクリートの配合を表-1に示す。本実験では、配合 A,B,C の RC はり供試体に乾燥収縮による収縮ひび割れを発生させるため、配合および使用材料によって乾燥収縮量を増加させたコンクリートを製造した。単位水量を 315kg/m³ と大きくし、圧縮強度を約 30N/mm² とした。単位水量の増大に伴うブリーディングの発生を、石灰石微粉末 200kg/m³ を細骨材に置換するとともに分離低減剤を 2kg/m³ 混入することによって抑制した。また、配合 A, B では、収縮量が比較的大きいとされる粗骨材を使用した。配合 C では、同一配合に対して膨張材 20kg/m³ をセメントに置換することで、ひび割れの発生が懸念される材齢初期の

表-1 コンクリートの配合

配合	W/B(%)	単位量(kg/m ³)										
		水 W	セメント C	石灰石微粉末 L	膨張材 Ex	細骨材 S	粗骨材 G1	粗骨材 G2	粗骨材 G3	収縮低減剤 SRA	分離低減剤 V	AE剤
A	60	315	525	200	20	350	682	692	735	16	2	0.16
B							21					
C												
D												
E												
F												

*1 群馬大学大学院 工学研究科社会環境デザイン工学専攻 (学生会員)

*2 広島大学大学院 工学研究院社会環境空間部門准教授 博士(工学) (正会員)

表-2 RC はり供試体の諸元

供試体 シリーズ	軸方向鉄筋			せん断補強筋			設計荷重			
	降伏 強度 (N/mm ²)	ヤング 係数 (kN/mm ²)	引張 鉄筋比 (%)	降伏 強度 (N/mm ²)	ヤング 係数 (kN/mm ²)	せん断 補強筋比 (%)	曲げひび割れ 発生荷重 (kN)	斜めひび割れ 発生荷重 (kN)	せん断補強筋 降伏荷重 (kN)	曲げ破壊 荷重 (kN)
N	1039	175	4.18	357	190	—	29	134	—	340
S						0.29			217	

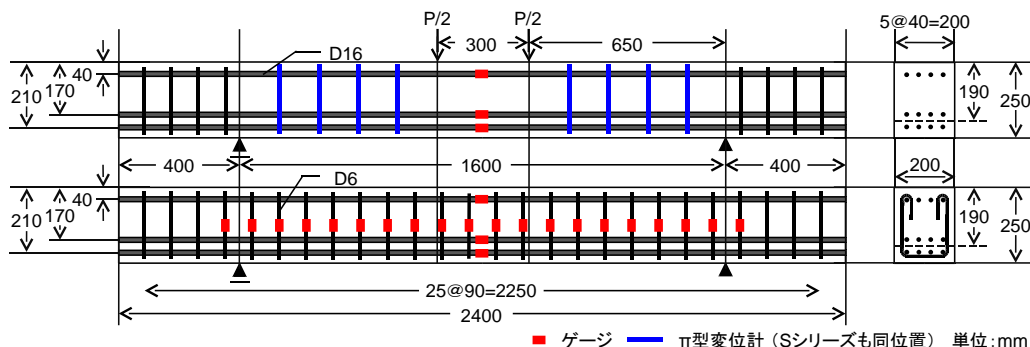


表-2 RC はり供試体の形状寸法

急激な乾燥収縮を、初期膨張により低減した。配合 D では、膨張材と収縮低減剤により、乾燥収縮を抑制させた。また、配合 E,F では同一配合に対して 40, 60kg/m³ の膨張材をセメントに置換するとともに、収縮低減剤を増加させることで、膨張ひずみを発生させ、RC はり供試体にケミカルプレストレスを導入するとした。

2.2 供試体概要

(1)RC はり概要

作製した RC はりの供試体諸元を表-2 に、供試体の形状寸法を図-1 に示す。作製した RC はり供試体は、せん断補強筋のない RC はり供試体 (N) と、せん断補強筋を有する供試体 (S) の 2 種類である。いずれもせん断破壊が先行するように設計した。

載荷前の供試体に及ぼす収縮の影響を把握するため、コンクリートの打込み直後から載荷試験までの軸方向鉄筋およびせん断補強筋のひずみの経時変化を、図-1 に示す位置において測定した。

本実験の配合 A,B,D,E では、せん断補強筋の有無の RC はり供試体それぞれについて各 2 体、C,F では各 1 体の合計 20 体の供試体を作製した。供試体名は、せん断補強筋の有無 (N, S)、配合 (A,B,C,D,E,F)、同一条件供試体の分類 (1, 2) を順に示している。

作製した RC はり供試体は、打込み終了後、直ちに打込み面をラップフィルムで覆って封緘状態とした。24 時間後に全面を脱型し、載荷試験まで室内環境において気乾養生を行なった。なお、養生中の自重による拘束の影響を緩和するため、供試体の下面にコロを設置し、床との摩擦を低減させた。なお、A,B,C,D シリーズについては、既発表の実験⁵⁾である。

(2)強度試験用供試体概要

本実験では圧縮試験用供試体として、φ100×200 の円

柱供試体を各配合に対し 3 体ずつ作成した。載荷方法は JIS に準拠し、養生方法は RC はりと同様に行った。

2.3 載荷試験方法

RC はり供試体の載荷試験の方法を図-1 に示す。スパン 1600mm、等曲げモーメント区間 300mm、2 点集中荷重による静的載荷とした。載荷試験中は、荷重、各種鉄筋ひずみを計測するとともに、ひび割れ進展状況についても目視で観察した。

本実験での斜めひび割れの発生荷重の判定は、π 型変位計 (測定長 200mm) にて計測したせん断スパン内の鉛直方向の変位により判断した (図-1)。これは、斜めひび割れの発生に伴う鉛直方向への開口変位の増加を測定するものであり、変位が急激に増加した点を斜めひび割れ発生荷重とした。なお、S シリーズでは、せん断補強筋のひずみ変化もあわせて判断した。

3.実験結果および考察

3.1 コンクリートの圧縮強度試験結果

コンクリートの圧縮強度を表-3 に示す。コンクリートの圧縮強度は A,B,C,D ではほぼ同数値となっている。E,F では上記 4 配合と比較すると低い数値を示した。これは膨張材を多量にセメントに置換し、無拘束状態であったために、コンクリートの内部組織に損傷が生じたためと思われる。

3.2 養生時の鉄筋ひずみ・コンクリートの応力

各供試体の載荷開始直前における鉄筋の初期ひずみと、鉄筋ひずみから求めたコンクリートの内部応力を表-4 に示す。ここで、コンクリートの引張縁の収縮応力は、軸方向鉄筋ひずみの実測値から全断面有効の平面保持を仮定し、軸方向の力の釣合いから算出した。A, B

表-3 コンクリートの圧縮強度

供試体名	圧縮強度 (N/mm ²)	ヤング係数 (kN/mm ²)
NA1	30.2	19.0
NA2	30.8	18.8
NB1	29.7	17.5
NC1	29.5	20.8
NC2	28.1	19.8
ND1	26.8	19.7
ND2	30.4	19.7
NE1	25.2	21.1
NE2	25.2	21.1
NF1	23.4	21.5
SA1	29.5	19.0
SA2	29.8	18.6
SB1	29.1	18.6
SC1	29.1	20.5
SC2	27.2	18.2
SD1	27.1	18.4
SD2	29.7	19.7
SE1	25.2	21.1
SE2	25.2	21.1
SF1	23.4	21.5

表-4 載荷開始直前の鉄筋の初期ひずみおよびコンクリートの内部応力

供試体名	上段鉄筋 ひずみ ($\times 10^{-6}$)	中段鉄筋 ひずみ ($\times 10^{-6}$)	下段鉄筋 ひずみ ($\times 10^{-6}$)	補強筋 ひずみ ($\times 10^{-6}$)	引張縁 収縮応力 (N/mm ²)	鉛直方向 収縮応力 (N/mm ²)
NA1	-199	-128	-101		3.26 [*]	
NA2	-183	-132	-131		3.40 [*]	
NB1	-203	-130	-118		3.54 [*]	
NC1	-103	-105	-101		2.32 [*]	
NC2	-124	-97	-79		2.26 [*]	
ND1	16	25	23		-0.43	
ND2	19	2	-4		-0.14	
NE1	105	79	75		-1.97	
NE2	97	66	53		-1.64	
NF1	244	243	218		-5.28	
SA1	-181	-133	-134	-284	3.41 [*]	0.19
SA2	-204	-141	-96	-326	3.34 [*]	0.22
SB1	-187	-127	-103	-283	3.16 [*]	0.19
SC1	-126	-97	-98	-86	2.44 [*]	0.06
SC2	-126	-78	-67	-79	2.07 [*]	0.05
SD1	16	21	16	105	-0.40	-0.07
SD2	10	7	-7	149	-0.07	-0.10
SE1	87	45	44	337	-1.36	-0.23
SE2	114	87	90	251	-2.21	-0.17
SF1	296	281	242	737	-6.14	-0.49

※引張強度を超えているのでの参考値とする

シリーズではひび割れが生じたため、参考値である。鉛直方向の収縮応力は、せん断補強筋とコンクリートの鉛直方向の力の釣合いから求めた。また、鉄筋のひずみは引張を正として示した。

結果から、配合 A,B,C では程度は異なるものの収縮、D はほぼ体積変化しておらず、E,F は膨張していることが分かる。これらは、収縮低減剤や、膨張材を添加したことで供試体の乾燥収縮を低減させたためである。また、A,B シリーズはコンクリートに引張強度を超える収縮応力が発生し、多数のひび割れが確認された。C シリーズは、A,B シリーズに比べ収縮が低減されており、ひび割れも表面ひび割れが数本確認された程度である。D シリーズは収縮によるひび割れもなく、コンクリートに収縮応力もほとんど作用していない。E,F シリーズは、ひび割れを防止し、さらに引張縁と鉛直方向応力からケミカルプレストレスが導入されていることが分かる。

3.3 載荷試験結果

(1) 斜めひび割れ発生荷重

配合 A,B シリーズの破壊後におけるひび割れ図を図-2 に示す。また、斜めひび割れ発生荷重と鉄筋の平均初期ひずみとの関係を図-3 に示す。図-3 以降に示す鉄筋の平均初期ひずみは、表-4 で示す上・中・下段鉄筋ひずみの平均値である。

図-3 より、斜めひび割れ発生荷重は、載荷前に鉄筋に収縮ひずみが蓄積されている供試体ほど小さく、膨張ひずみが導入されているほど大きくなる。これらは、これまでの研究でも報告されているものであり、コンクリートや鉄筋に蓄積された応力およびその解放によってもたらされたものである。また、これらの傾向は、せん

断補強筋の有無に関係なく見られるものであったが、コンクリートの膨張によって鉄筋ひずみが引張となった場合には、せん断補強筋を配置した供試体の斜めひび割れ発生荷重が、同程度の鉄筋ひずみを生じたせん断補強筋を配置していない供試体よりも大きくなるものがあった。つまり、膨張コンクリートの場合には、多軸の拘束によって、斜めひび割れ発生荷重の増加程度が大きくなった可能性がある。

また、載荷開始前に乾燥収縮ひび割れが多数発生していた A,B シリーズでは、斜めひび割れ発生荷重がばらついた。これは、NA2,NB1,SA2 では乾燥収縮ひび割れが供試体に対して横および斜め方向に生じていたことによって図-2 中の赤い実線で示す乾燥収縮ひび割れが斜めひび割れを誘発して斜めひび割れ発生荷重を低下させたと考えられる。その程度の違いによってばらつきが大きくなったと思われる。

(2) 斜めひび割れ発生後の荷重増加

最大荷重(Pmax)から斜めひび割れ発生荷重(Pvc)を差し引いた値を図-4 に、載荷時に鉄筋降伏に至ったせん断補強筋の平均ひずみの挙動を図-5(a), (b)に示す。ここで、図-5 の赤丸は斜めひび割れ発生荷重を示す。

図-4 から、せん断補強筋を配置した SA,SB,SC,SD シリーズは、斜めひび割れ発生後の最大荷重までの荷重の増加分は、収縮ひずみの違いによらずほぼ同等であった。これは、図-5(a), (b)に示すように、斜めひび割れ発生荷重は、降伏に至ったせん断補強筋のひずみが増加した荷重と同程度である。斜めひび割れの発生によってせん断補強筋に蓄積されていた応力が解放され、せん断補強筋が受け持つせん断力の負担分が、斜めひび割れ発生後

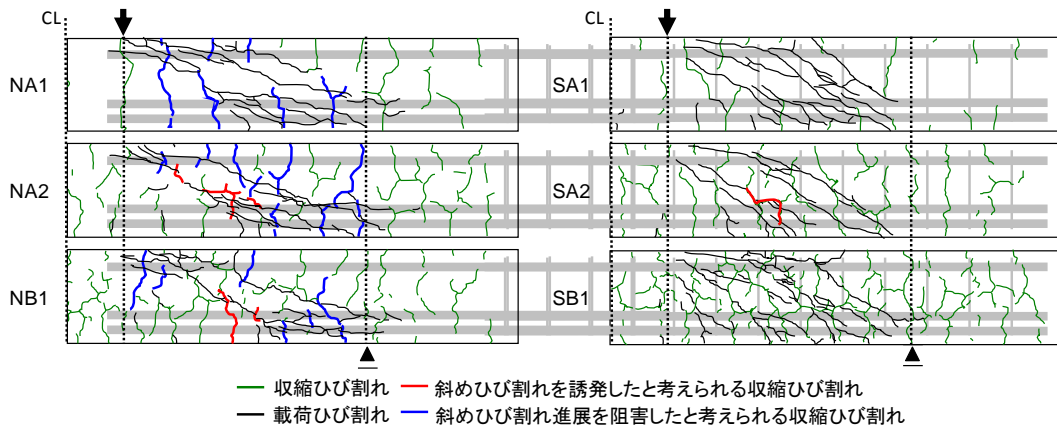


図-2 ひび割れ図

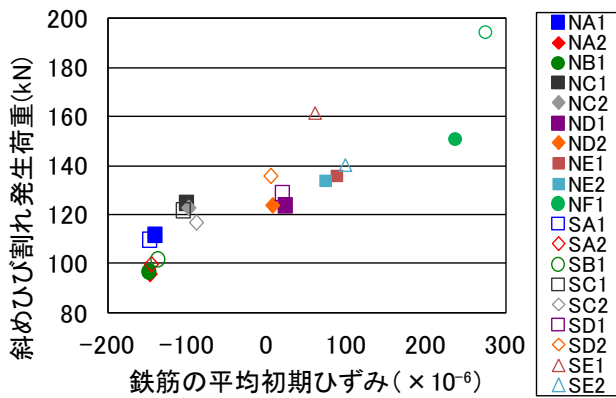


図-3 斜めひび割れ発生荷重と鉄筋の平均初期ひずみとの関係

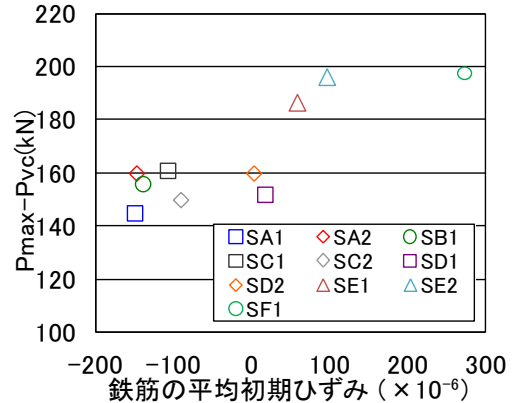


図-4 最大荷重－斜めひび割れ発生荷重と鉄筋の平均初期ひずみとの関係

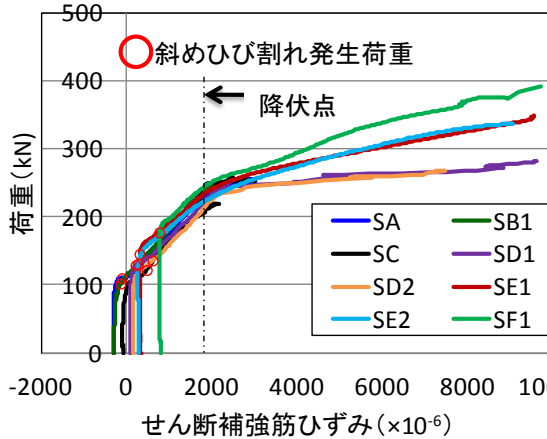


図-5(a) せん断補強筋の挙動

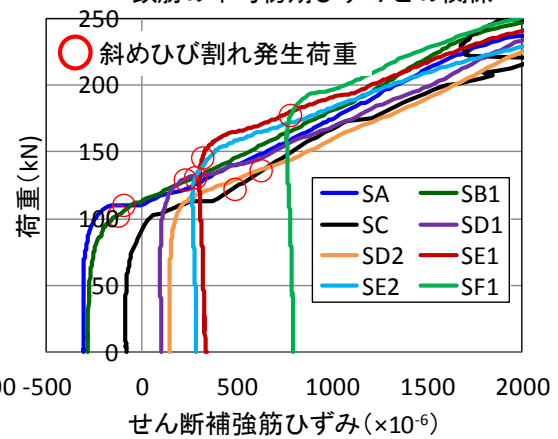


図-5(b) せん断補強筋の挙動

は同一の物性値を持ったせん断補強筋を用いたため同等であったことが原因として考えられる。これは、自己収縮の影響を検討した既往の研究³⁾においても確認されている。したがって、せん断補強筋を有する供試体の収縮によるせん断耐力への影響は、斜めひび割れ発生時に生じた収縮応力による低下分、および収縮ひび割れによる斜めひび割れの誘発による低下分のみであると考えられる。しかし、ケミカルプレストレスを導入したSE,SFシリーズは、せん断補強筋の負担分が増加する傾向がみとめられ、収縮の場合とは異なる傾向を示した。この要因は明らかではなく、今後の検討課題としたい。

3.4 初期鉄筋ひずみを考慮した斜めひび割れ発生荷重の算定式

各種算定式によって得られた斜めひび割れ発生荷重の計算値と実験値、および比較としての計算値に対する実測値（以下では実/計と略記）を表-5 および図-6 に示す。算定式には、土木学会コンクリート標準示方書原式である二羽式⁹⁾のほか、(2)と(3)で示す2式を用いた。

ここで、標準偏差は各「実/計」を平均値で除したものの2乗の平均値の平方根で、標準偏差が小さいほど「実/計」の数値のばらつきが小さいことを表している。また、図中の実線はA～Fシリーズの近似線を、破線は

表-5 初期鉄筋ひずみを考慮した斜めひび割れ発生荷重の計算値と実験値との比較

供試体名	実験値	二羽式	実/計	等価引張鉄筋比計算値 (kN)	実/計	軸力考慮計算値 (kN)	実/計
	(kN)	(kN)					
NA1	112	134	0.84	116	0.97	107	1.05
NA2	96	135	0.71	118	0.81	109	0.88
NB1	97	133	0.73	115	0.84	105	0.92
NC1	125	133	0.94	122	1.02	115	1.09
NC2	123	131	0.94	119	1.03	112	1.10
ND1	124	129	0.96	131	0.95	132	0.94
ND2	131	134	0.98	136	0.96	136	0.96
NE1	132	126	1.05	138	0.96	142	0.93
NE2	136	126	1.08	138	0.99	140	0.97
NF1	151	123	1.23	157	0.96	167	0.90
SA1	110	133	0.83	116	0.95	106	1.04
SA2	100	133	0.75	115	0.87	104	0.96
SB1	102	132	0.77	115	0.89	106	0.96
SC1	122	132	0.92	120	1.02	113	1.08
SC2	117	129	0.91	118	0.99	112	1.04
SD1	129	129	1.00	131	0.98	132	0.98
SD2	136	133	1.02	134	1.01	135	1.01
SE1	141	126	1.12	135	1.05	138	1.02
SE2	128	126	1.02	140	0.92	144	0.89
SF1	177	123	1.44	162	1.09	175	1.01
A~F平均値			0.96			0.96	0.99
C~F平均			1.04			1.00	0.99
A~F標準偏差			0.1718			0.0683	0.0650
C~F標準偏差			0.1355			0.0434	0.0653

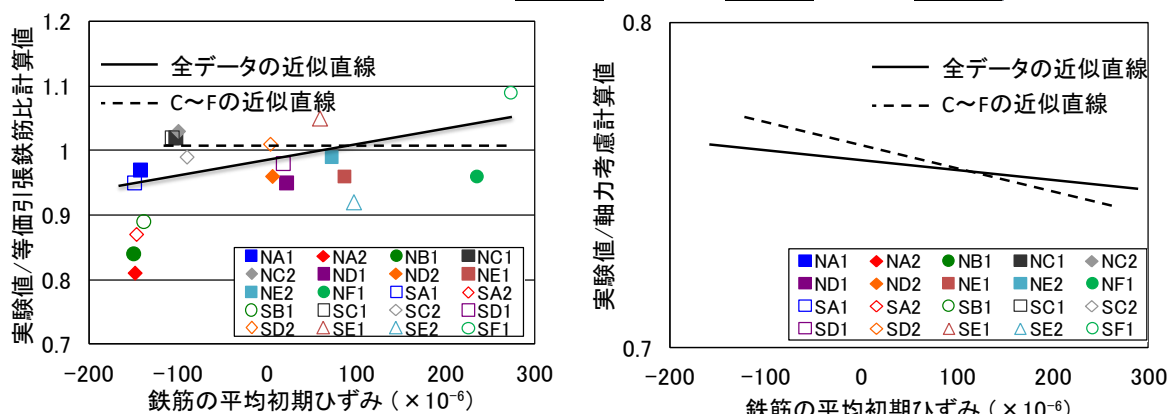


図-6 斜めひび割れ発生荷重の実験値/計算値と鉄筋初期ひずみとの比較

初期ひび割れが斜めひび割れ発生荷重に影響を与えなかったと考えられるC~Fの近似線を表している。

(1)等価引張鉄筋比を用いた算定式

高強度コンクリートに生じる自己収縮による体積変化の影響を考慮した斜めひび割れ発生強度の算定式³⁾が河金・佐藤によって提案されている。これは、引張鉄筋ひずみ変化量が収縮によって大きくなることでひび割れ幅が増大することは、機能的には、引張鉄筋比が小さいことでひび割れ幅が大きくなることと等価であるとし、せん断強度の影響を式(1)で示す等価引張鉄筋比の概念を用いて評価している。

$$P_{s,e} = \frac{\epsilon_s}{\epsilon_s - \epsilon_{s0,def}} P_s \quad (1)$$

ここで、 $P_{s,e}$ ：等価引張鉄筋比、 P_s ：鉄筋比、 ϵ_s ：斜めひび割れに発達する曲げひび割れ発生断面における、コ

ンクリート引張部を無視した曲げ理論を用いて求めた斜めひび割れ発生時の引張鉄筋ひずみ、 $\epsilon_{s0,def}$ ：引張鉄筋位置でのコンクリート応力がゼロ状態の時の引張鉄筋ひずみである。本研究では、この等価引張鉄筋比を普通強度の斜めひび割れ発生強度の算定式である二羽式⁹⁾に組み込み、乾燥収縮による影響を式(2)で計算することとした。

$$V_c = 0.2 f_c^{1/3} (100 p_{s,e})^{1/3} (d/10^3)^{-1/4} (0.75 + 1.4/(a/d)) b d \quad (2)$$

(2)軸力を考慮した算定式

膨張材を用いたRCはりのプレストレスの効果を、軸力に置き換えて斜めひび割れ発生荷重を算定する算定式が、柘原⁸⁾によって式(3)のように提案されている。

$$V_c = 0.2 (1 + M_o/M_d) f_c^{1/3} p_v^{1/3} d^{-1/4} (0.75 + 1.4/(a/d)) b_w d \quad (3)$$

$$M_0 = \sigma_N \cdot I / y \quad (4)$$

ここで、 f_c ：圧縮強度、 p_v ：鉄筋比、 d ：有効高さ、 b_w ：腹部の幅、 M_d ：設計曲げモーメント、 M_0 ：引張縁において軸方向力によって発生する応力を打ち消すのに必要な曲げモーメント、 σ_N ：軸応力、 I ：断面2次モーメント、 y ：中立軸からの距離である。

栖原の検討では、膨張材によるプレストレスの効果を軸力に置き換えることで斜めひび割れ発生荷重を評価している。ここで、鉛直方向に応力がかからない場合は単にケミカルプレストレスが、鉛直方向に応力がかかる場合は、軸方向応力にケミカルプレストレスが加算されるため、膨張コンクリートを用いた RC はりは、 M_0 が普通コンクリートを用いた RC はりより大きくなるとしている。よって、膨張による鉄筋に生じる引張力を部材の断面積で除した均等なケミカルプレストレスを用いて M_0 を式(4)で算定し、斜めひび割れ発生荷重を算出している。本研究では、載荷直前の鉄筋初期ひずみを用いて収縮ひずみが生じている供試体についても式(3)で評価をすることとした。

(3)各種算定式の結果比較

表-5 から、二羽式は無収縮の D シリーズで実験値と計算値がほとんど同じであり精度よく推定できていることが分かる。しかし、載荷前に収縮・膨張ひずみが生じた場合には推定精度が低下した。特に、A,B,F のように載荷前の収縮・膨張ひずみが大きい場合、推定精度は大きく低下した。このことから、載荷前に収縮・膨張の応力やひずみが作用している RC はりの斜めひび割れ発生荷重はこれら応力やひずみを考慮した算定式で計算値を求める必要がある。

二羽式に等価引張鉄筋比または軸力の影響を加味した新たな計算値では、推定精度が向上した。ただし、乾燥収縮による乾燥収縮ひび割れが斜めひび割れの発生を誘発した A, B シリーズは、推定値が解離している。これは、乾燥収縮ひび割れの角度によって斜めひび割れを促進する程度が異なることのほか、収縮ひび割れの発生によって応力が解放されるため、鉄筋ひずみから収縮の程度が十分に把握できないためである。

一方で、今回の検討では、収縮ひび割れの影響はいずれにおいても考慮できない。そこで顕著な収縮ひび割れを生じない C~F シリーズのみを対象として比較すると、さらに推定精度が向上することが分かる。特に、等価引張鉄筋比を用いた計算値の標準偏差が小さくなった。これは、図-6 における C~F の近似値の傾きが小さく、1 付近であることから精度よく推定出来ていることがわかる。これによって、予測精度が向上し、鉄筋の平均初期ひずみの大きさに関わらず統一的に斜めひび割れ発生荷重を評価できるようになった。一方で軸力を考慮

した計算値は、図-6 からわかるように、収縮あるいは膨張の影響を過大に評価した。原因として、せん断補強筋を配置していない N シリーズの計算値が乖離してしまっていることがあげられる。原因としては、体積変化に対する拘束条件の違いが影響したものと考えられる。

4.まとめ

本実験で得られた知見を以下に示す。

- (1) RC はりの斜めひび割れ発生荷重は、コンクリートの収縮によって低下、膨張によって増加した。
- (2) 斜めひび割れ発生後のせん断補強筋による負担力はコンクリートが収縮する場合や無収縮の場合ではほぼ一定であるが、膨張コンクリートの場合は、膨張量の増加とともに増加傾向であった。
- (3) 二羽式に等価引張鉄筋比または軸力を考慮した計算値と実験値を比較したところ、両者とも推定精度は向上した。特に等価鉄筋比によって推定精度が向上することが示された。これにより収縮だけでなく膨張の範囲における体積変化に対しても、斜めひび割れ発生荷重の算定が可能になった。

参考文献

- 1) 垂井高架橋損傷対策特別委員会中間報告書, 2005.9
- 2) 今本啓一, 石井寿美江, 荒井正直: 各種骨材を用いたコンクリートの乾燥収縮特性と骨材比表面積の影響, 日本建築学会構造系論文集, 第606号, pp.9-14, 2006.8
- 3) 河金甲, 佐藤良一: 高強度 RC はりの斜めひび割れ発生強度に及ぼす収縮の影響評価, 土木学会論文集 E, Vol.65, No.2, pp.178-197, 2009.
- 4) 河金甲ほか: せん断補強筋を有する高強度 RC はりのせん断耐力に及ぼす収縮の影響, コンクリート工学年次論文集, Vol.29, No.3, pp.703-708, 2007
- 5) 森戸重光, 半井健一郎: 収縮応力および収縮ひび割れが RC はりのせん断耐力に及ぼす影響, コンクリート工学年次論文集 Vol.32, No.2, pp.673-678, 2010.
- 6) 宮本和也ほか: 収縮による RC はりのせん断強度への影響, 土木学会第 67 回年次学術講演会, V264, 2012.
- 7) 向井孝男, 丸山久一, 先村律雄, 辻幸和: 膨張コンクリートを用いた RC 部材のせん断性状, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.9, No.2, 1987.
- 8) 栖原健太郎: 膨張材によるケミカルプレストレンを考慮した C P C 部材の限界状態設計法, 群馬大学大学院学位論文, 2008.
- 9) 二羽淳一郎, 山田一字, 横沢和夫, 岡村甫: せん断補強鉄筋を用いない RC はりのせん断強度式の再評価, 土木学会論文集, 第372号/V-5, pp.167-176, 1986.8