

論文 高炉セメントB種RCはりの曲げせん断特性に対する初期高温履歴の影響

Mwangi M. MACHARIA*1・藤山 堯大*2・小川 由布子*3・佐藤 良一*4

要旨: 本研究では、高温履歴を受けた高炉 B 種鉄筋コンクリート (RC) はりのせん断耐力を実験的に検討した。水セメント比 0.5 のコンクリートを対象とし、養生条件は最高温度 70°C の高温履歴および屋内常温養生の 2 水準とした。この結果、高温履歴を受けたコンクリートの自己収縮ひずみおよびそれによる鉄筋ひずみは常温養生に比べて 1.5~2 倍程度大きくなった。また、高温履歴を受けた RC はりの曲げひび割れ幅は常温養生に比べて同程度であったが、せん断耐力は 8~14% 低下した。

キーワード: 高炉 B 種コンクリート, 高温履歴, 自己収縮, 曲げひび割れ幅, せん断耐力

1. はじめに

高炉セメント B 種コンクリート (BBC) の自己収縮は高温履歴を受けると水セメント比 (W/C) によらず 20°C 養生下に比べて 2 倍程度に増大することが報告されている。

しかしながら、高温履歴およびそれによって増大する自己収縮が BBC を用いた RC はりの曲げひび割れ幅およびせん断特性に及ぼす影響の検討は行われていない。一方、自己収縮によって高強度 RC はりの引張鉄筋が圧縮され、これがひび割れとともに解放されることにより、せん断耐力が有意に低下することが明らかにされている²⁾。著者らは自己収縮によるせん断耐力低下の評価方法として、自己収縮によって増大する載荷前後の引張鉄筋ひずみは引張鉄筋比が小さくなると等価であるとする等価鉄筋比の概念を提案している²⁾。

以上のことから、本研究では初期高温履歴を受けた BBC を用いた RC はりの曲げ理論が成立する範囲での曲げひび割れ特性、および RC はりのせん断耐力への影響を把握するため、最高温度 70°C での温度履歴を賦与した RC はりのせん断耐力特性を実験的に検討した。

2. 実験概要

2.1 使用材料及び配合

本研究において使用した材料とその物理的性質を表-1に示す。セメントには高炉セメント B 種を使用した。粗骨材には黒瀬町産石英斑岩砕石、細骨材は黒瀬町産石英斑岩砕砂を用いた。

コンクリートの配合を表-2に示す。W/C は 0.5、細骨材率 (s/a) を 44.6%、単位水量を 170 kg/m³とした。目標スランプの 8±2cm および空気量の 4.5±0.5% は AE 減水剤標準形 I 種の減水剤を用い調整した。

2.2 養生条件

図-1に、使用した温湿度可変制御槽内で賦与した温度履歴と実験棟内の温度履歴を示す。最高温度と相対湿度の目標値はそれぞれ 70±1°C、一定の 90±5% である。後述の各試験は槽内で打込み、直ちにアルミ粘着テープ、湿布、ラップフィルムの順で表面を覆った。最高温度に達した後は 25 度まで槽内で材齢 7 日まで自然冷却をした。材齢 7 日目 (有効材齢 23 日) に試験体を脱枠し、アルミ粘着テープで封緘した後室内で載荷材齢まで曝露した。

また、比較のために、同じバッチのコンクリートで作製した試験体を室内で打ち込み直後から載荷材齢まで封

表-1 使用材料

使用材料	種類	記号	物理特性
セメント	高炉セメントB種	BB	密度:3.04g/cm ³ , 比表面積:3760cm ² /g
細骨材	石英斑岩砕砂(広島県東広島市黒瀬町産)	S	表乾密度2.58g/cm ³ , 吸水率1.56%
粗骨材	石英斑岩砕石(広島県東広島市黒瀬町産)	G	表乾密度2.62g/cm ³ , 吸水率0.59%

表-2 配合表

配合名	W/C	目標値		s/a	単位量 (kg/m ³)			
		スランプ	空気量		水(W)	セメント BB	混合砂(S)	粗骨材(G)
		(cm)	(%)	(%)				
50BBC	0.5	8±2	4.5±0.5	44.6	170	340	774	977

*1 広島大学大学院 工学研究科社会基盤環境工学専攻 (学生会員)

*2 広島大学 工学部第4類会基盤環境工学プログラム (学生会員)

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

*4 広島大学大学院 工学研究院社会環境空間部門 工博 (正会員)

減養生した。

本論文では高温履歴を受けた試験体を High temp と示し、室内養生をしたものを Normal temp と呼ぶ。

それぞれの養生条件の円柱供試体内部の温度の一例を図-2 に示す。

2.3 検討項目

2.3.1 強度試験

強度試験は圧縮強度試験、割裂引張強度試験および静弾性係数試験について行った。各試験は、それぞれ JIS A 1108, JIS A 1113 および JIS A 1149 に準拠した。試験材齢は圧縮強度およびヤング係数の場合、1, 3, 7, 28, 91 および RC はりの荷重時材齢で、割裂引張強度の場合は 7, 28, 91 および RC はりの荷重時材齢とした。

2.3.2 破壊エネルギーおよび特性長さ

破壊エネルギー試験は日本コンクリート工学会の試験法³⁾に準じて行い、寸法 100×100×400mm の角柱試験体に深さ 50mm の切り欠きを設け、試験を実施した。各養生条件に試験体 10 体を作製した。また、コンクリート破壊の脆性を表す特性長さは以下の式(1)で求めた。

$$l_{ch} = G_f \cdot E_c / f_t^2 \quad (1)$$

ここで、 l_{ch} : 特性長さ、 G_f : 破壊エネルギー、 E_c : コンクリートのヤング係数、 f_t : コンクリートの割裂引張強度

2.3.3 自己収縮ひずみ

自己収縮ひずみは図-3 に示すとおり、後述の RC はりの同断面の試験体寸法 200×320×1000mm の中心部に熱電対内蔵型の埋込みひずみゲージを設置し、測定した。

2.3.4 RC はりの概要、計測項目および荷重試験方法

RC はり試験体の諸元を図-4 に示す。寸法は、200×320×2300mm、有効高さ(d)は 250mm とし、引張鉄筋比は 0.80% とした。また、RC はりの引張鉄筋は、曲げ破壊を防ぎ確実にせん断破壊を生じさせるため、高強度の異形鉄筋の D16 (降伏強度: 1062N/mm²) を使用した。せん断設計の基本となるせん断引張型の耐力を明らかにするため、せん断補強は行わなかった。RC 試験体は、結果の信頼性を高めるため、各養生条件で 2 体ずつ作製した。

図-4 に示す通り支間中央の鉄筋ひずみの経時変化を打込み直後から測定した。荷重は 2 点集中荷重とし、鉄筋ひずみ、支間中央たわみ、鉄筋位置のひび割れ幅および曲げせん断域のせん断変位を、ワイヤストレインゲージ (ゲージ長 5mm)、 π 型変位計 (精度: 1/1000mm)、高感度変位計 (精度: 1/1000mm~1/200mm) により測定した。荷重は、単調増加とし所定の荷重で計測を行った。

3. 結果および考察

3.1 基礎力学特性

コンクリートの圧縮強度、割裂引張強度およびヤング係数と有効材齢の関係を図-5(a)~(c)にそれぞれ示す。有

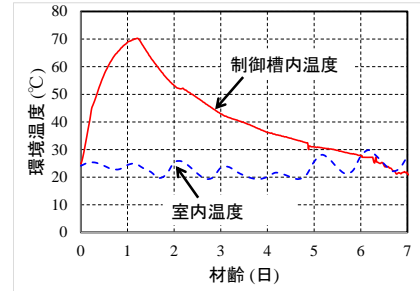


図-1 制御槽内温度および室内温度

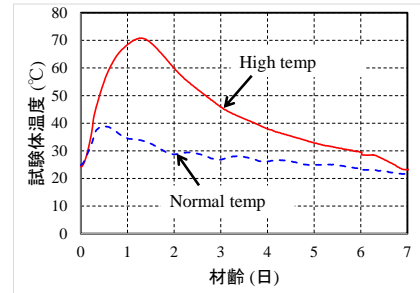


図-2 試験体内部の温度

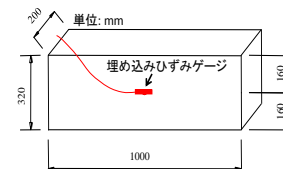


図-3 自由収縮ひずみの試験体概要

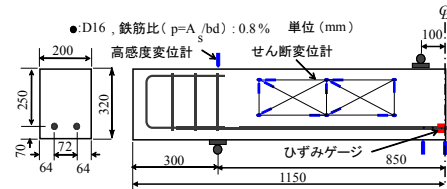


図-4 RC はりの試験体概要

効材齢は土木学会示方書 (2007)⁴⁾に従って求めた。図-5(a)と図-5(c)によれば、有効材齢 50 日あたりまでは High temp および Normal temp の圧縮強度およびヤング係数は同程度であるが、材齢の経過とともにいずれの場合も Normal temp の結果が High temp より高くなっていくことがわかる。割裂引張強度については図-5(b)より、有効材齢 75 日あたりまでは High temp の結果は Normal temp に比べて高いが、その後は逆転し Normal temp が若干大きくなるのがわかる。

3.2 自己収縮ひずみおよび自己収縮による鉄筋ひずみ

図-6 に高温履歴が自己収縮ひずみに及ぼす影響 (RC はりの荷重材齢まで) を示す。また、図-7 に自己収縮による荷重試験直前までの鉄筋ひずみを示す。これらの経時変化は鉄筋応力が発生しはじめた点を原点として示している。図中には試験体温度も示している。自己収縮試験結果の整理において温度補正を行う際に、表-3 に示す実測熱膨張係数(CTE)の平均値を用いた。

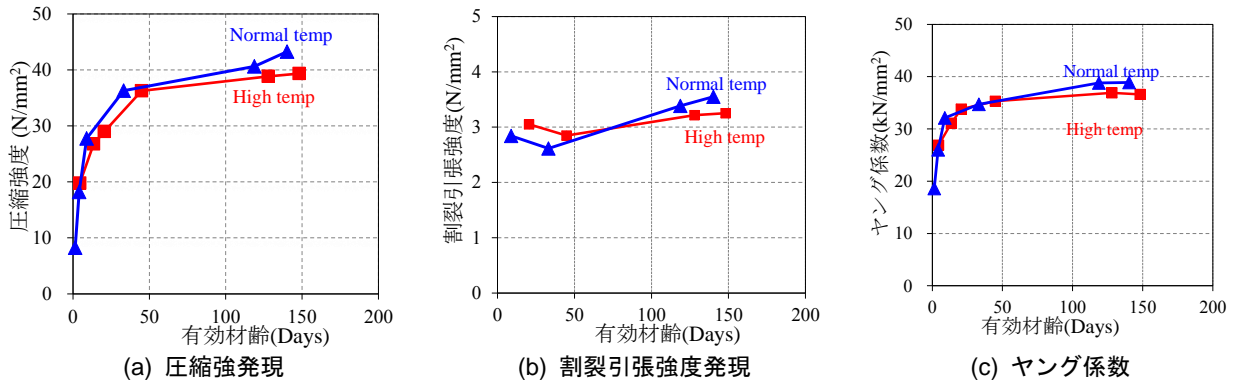


図-5 高温履歴がBBCの圧縮・割裂引張強度およびヤング係数に及ぼす影響

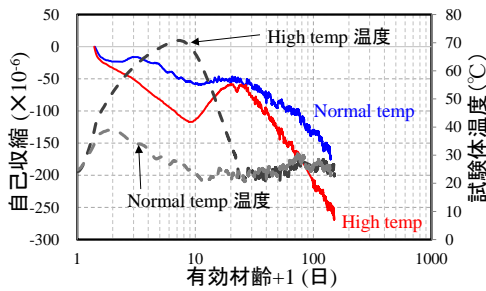


図-6 熱履歴が自己収縮に及ぼす影響

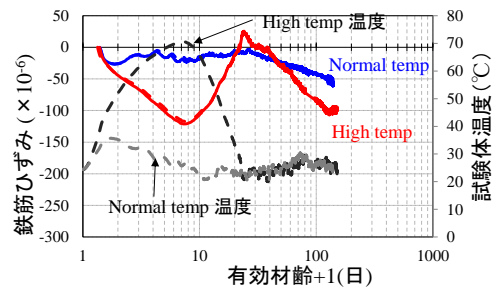


図-7 熱履歴がRCはりの鉄筋ひずみに及ぼす影響

表-4 RCはりの材料特性および鉄筋ひずみとコンクリート応力

項目	荷重時直前の力学特性					荷重時直前の収縮による鉄筋ひずみとコンクリート応力		鉄筋位置のコンクリート応力=0時	
	圧縮強度	割裂引張強度	ヤング係数	破壊エネルギー	特性長さ	鉄筋ひずみ	鉄筋位置のコンクリート応力	鉄筋ひずみ	下縁のコンクリート応力
記号	f_c	f_t	E_c	G_f	l_{ch}	$\epsilon_{s,def}$	$\sigma_{c,def}$	$\epsilon_{s,def}$	$\sigma_{c,def}$
	N/mm ²	N/mm ²	kN/mm ²	N/mm	mm	×10 ⁻⁶	N/mm ²	×10 ⁻⁶	N/mm ²
High temp-A	39.4	3.25	36.6	0.146	505	-100	0.24	-106	0.34
High temp-B						-97	0.23	-104	0.33
Normal temp-A	43.3	3.55	38.9	0.147	452	-61	0.14	-64	0.20
Normal temp-B						-55	0.13	-59	0.19

これらの値は両養生条件の材齢 183 日経過した全面シールされた円柱試験体 ($\phi 100 \times 200 \text{mm}$) を用い、温度範囲 20~80°Cまで 10°Cきざみで温度可変室にて温度を変化させ、温度ひずみをコンタクトひずみゲージで測定した結果から得た。測定は試験体の中心部の温度が温度可変室の雰囲気と一致した時点で行った。図-6より、高温履歴を受ける High temp の自己収縮ひずみは Normal temp のもの比べて増加速度が大きく、最終測定値もおよそ 1.5 倍大きく、既往の研究¹⁾と同様の傾向が得られたことがわかる。また、同図でみられるように温度下降時にひずみが膨張し、温度下降域の終了とともに再び収縮し始める。この理由の一つとして、用いた CTE で適切に温度補正が行われていないことが考えられる。このことか

表-3 コンクリートの熱膨張係数

養生条件	熱膨張係数(×10 ⁻⁶ /°C)		
	温度上昇時	温度下降時	平均
High temp	10.0	9.9	9.9
Normal temp	9.6	9.3	9.4

ら、若材齢時に経時的に変化するといわれている⁵⁾CTEを含め、CTEの見直しを行う必要があると考えられる。

図-7にRCはり中の鉄筋ひずみの経時変化を示す。この鉄筋ひずみは、温度変化を与えた無拘束鉄筋に貼付したひずみゲージの測定値から温度ひずみの関係を求め、これを用いて実測値を補正した弾性ひずみである。この図から温度履歴を受けた High temp の鉄筋ひずみは温度上昇時では自己収縮および鉄筋とコンクリートの熱膨張係数の差により温度ピーク時まで大きく圧縮され、温度下降時では大きく解放され小さくなるが、常温になれば再度圧縮され、Normal temp よりも大きな圧縮ひずみを示した。RCはりの荷重時材齢では平均で -50×10^{-6} と小さいものの2倍程度大きかった。

3.3 RCはりのひび割れ特性

表-4にコンクリートの力学特性およびRCはりの荷重時直前の自己収縮による鉄筋ひずみ、鉄筋位置および下縁のコンクリート応力および鉄筋位置のコンクリート応力=0の時の鉄筋ひずみを示す。また、図-8に各養生条件のRCはりの荷重試験終了までのひび割れ性状の一例

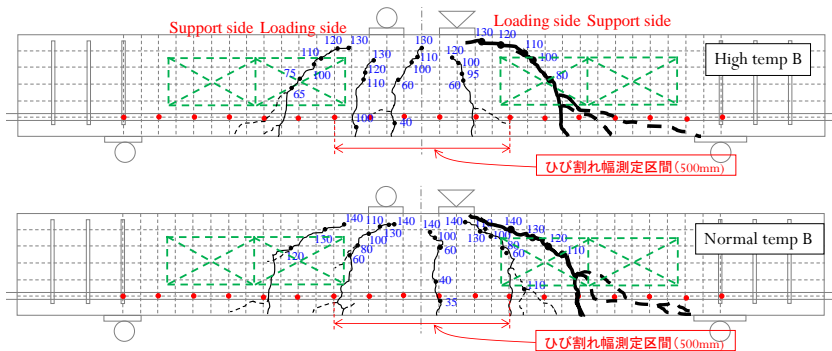


図-8 ひび割れ性状

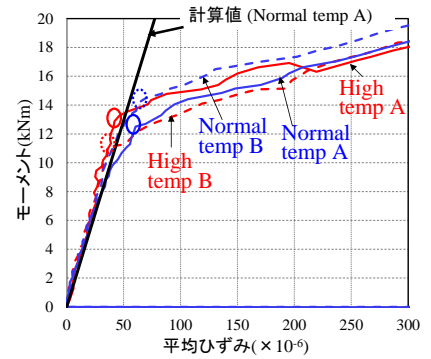


図-9 モーメントと平均ひずみの関係

表-5 RC はりのひび割れ特性の結果一覧

項目	曲げひび割れ発生モーメント					ひび割れ特性 ($\sigma_s = \text{約} 200\text{N/mm}^2$ の時)										
	実測値	計算値 (収縮無視)	実測値/ 計算値	計算値 (収縮考慮)	実測値/ 計算値	平均ひび 割れ間隔 (mm)	平均ひび 割れ幅 (mm)	最大ひび割れ間隔(mm)			最大ひび割れ幅(mm)					
								実測値	計算値	$l_{max,m}/$ $l_{max,cal}$	実測値	計算値(収縮無視)	計算値(収縮考慮)	$W_{max,exp}/$ $W_{max,cal}$	$W_{max,cal}$	$W_{max,exp}/$ $W_{max,cal}$
記号	$M_{cr,m}$	$M_{cr,cal}$	$M_{cr,m}/$ $M_{cr,cal}$	$M_{cr,cal}$	$M_{cr,m}/$ $M_{cr,cal}$	実測値	実測値	実測値	計算値	$l_{max,m}/$ $l_{max,cal}$	$W_{max,exp}$	$W_{max,cal}$	$W_{max,exp}/$ $W_{max,cal}$	$W_{max,cal}$	$W_{max,exp}/$ $W_{max,cal}$	$W_{max,cal}$
単位	kN	kN		kN		l_{av}	w_{av}	$l_{max,m}$	$l_{max,cal}$	$l_{max,cal}$						
High temp A	13.2	11.6	1.14	10.4	1.27	202	0.031	202	301	0.67	0.096	0.301	0.32	0.331	0.29	
High temp B	11.3		0.98	10.4	1.09	170	0.029	227	301	0.75	0.138	0.301	0.46	0.330	0.42	
Normal temp A	12.5		0.99	11.9	1.05	312	0.029	312	296	1.05	0.108	0.296	0.36	0.314	0.34	
Normal temp B	14.5		1.15	11.9	1.22	279	0.024	279	296	0.94	0.127	0.296	0.43	0.312	0.40	

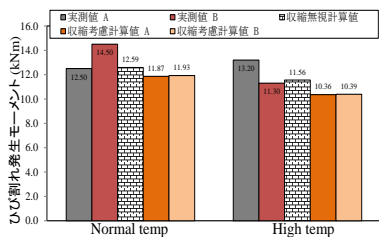


図-10 曲げひび割れ発生モーメント

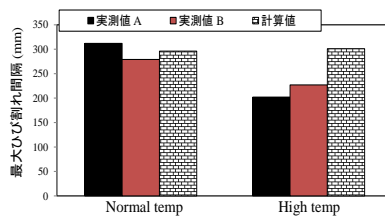


図-11 最大ひび割れ間隔

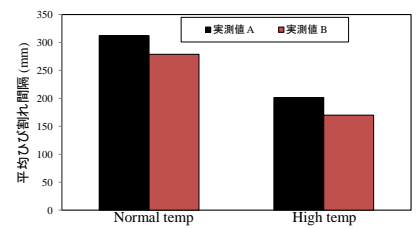


図-12 平均ひび割れ間隔

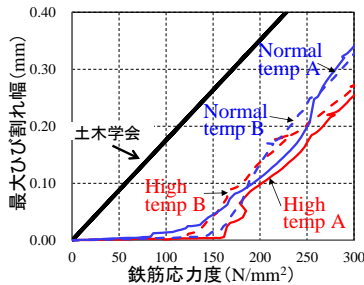


図-13 最大ひび割れ幅と鉄筋応力度の関係

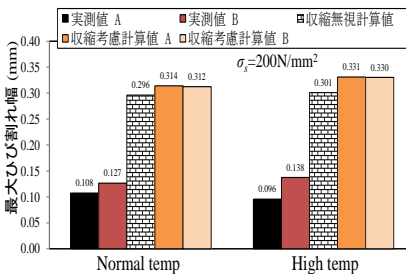


図-14 鉄筋応力=200N/mm²時の最大ひび割れ幅

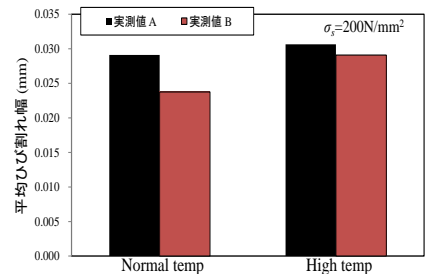


図-15 鉄筋応力=200N/mm²時の平均ひび割れ幅

(両方とも試験体 B) を示す。図中にはひび割れ幅測定区間 (500mm) をも示している。

表-5 には曲げひび割れ発生モーメントと鉄筋応力度 $=200\text{N/mm}^2$ におけるひび割れ幅およびひび割れ間隔のまとめを示す。曲げひび割れ発生モーメントは鉄筋ひずみ、平均ひずみ、たわみから読み取り、曲げ理論に基づいた全断面の計算値からそれが急増した時点の値とした。その一例を図-9 に示しており、丸印は採用した値である。それぞれの曲げひび割れ発生モーメントの比較を図-10 に示す。図中には割裂引張強度を用い、収縮を無視した場合と表-4 の下縁コンクリート応力を取り入れて考慮した場合の計算値をも示している。この図から、High temp

の 2 体平均実測曲げひび割れ発生モーメントは Normal temp の結果より若干小さくなった。また、収縮を無視した計算値は考慮した場合に比べて実測値の 2 体の平均値に近かった。

図-11 に最大ひび割れ間隔の実測値と土木学会による計算値⁴⁾、図-12 に平均ひび割れ間隔の実測値をそれぞれ示す。これによれば、High temp の最大および平均ひび割れ間隔はいずれも Normal temp に比べて小さい。これは Normal temp に比べ High temp の割裂引張強度が小さく、さらに表-4 に示すように、鉄筋の収縮拘束による RC はり下縁のコンクリート応力が大きいため、ひび割れの分散性が高くなったと考えられる。また、最大ひび割れ間

隔の計算値は Normal temp の実測値とほぼ一致するが、High temp の場合は平均で約 30%の差が生じた。

図-13 には高温履歴が最大ひび割れ幅と鉄筋応力度の関係に及ぼす影響を示す。また、図-14 には鉄筋応力度=200N/mm²時の最大ひび割れ幅の比較を示す。図中には収縮を考慮および無視した式(2)で求めた計算値も示す。

$$w = 1.1k_1k_2k_3[4c + 0.7(c_s - \phi)]\{\sigma_{se}/E_s + \epsilon'_{csd}\} \quad (2)$$

ここで、 k_1, k_2, k_3 : 鉄筋の付着性状やコンクリートの品質、鉄筋段数を考慮するための係数、 c : かぶり (mm), c_s : 鉄筋の中心間隔 (mm), ϕ : 鋼材の径 (mm), σ_{se} : 鉄筋位置のコンクリート応力度が 0 の状態からの鉄筋応力度の増加量 (N/mm²), E_s : 鉄筋の弾性係数 (N/mm²), ϵ'_{csd} : コンクリートの収縮およびクリープ等を考慮するための数値

図-13 および図-14 より、High temp の最大ひび割れ幅の実測値は鉄筋応力度=200N/mm²時には Normal temp と同程度であることがわかる。また、平均ひび割れ幅を比較した図-15 においても大きな差がないことから、高温履歴の影響はほとんどないといえよう。しかし、図-13 より、応力度 200N/mm²以上の場合は Normal temp のひび割れ幅が High temp より大きくなる傾向が見られ、これは図-8 でみられるように検討区間に High temp に応力度 250N/mm² (荷重 60kN 以上)以降に新たなひび割れが

発生したからと考えられる。

最大ひび割れ幅(w)の計算値は収縮の考慮・無考慮に係らず、いずれの養生条件においても実測値より大きい。

3.4 RC はりのせん断耐力

図-16 には RC はりスパン中央のたわみに及ぼす熱履歴の影響を示す。また、曲げせん断域の斜め方向変位およびせん断変位に及ぼす熱履歴の影響を図-17 および図-18 にそれぞれを示す。図中の丸印は斜めひび割れ発生を示す。斜めひび割れ発生荷重(ここではせん断耐力とする)の決定では荷重とたわみ関係だけでなく、曲げせん断域で測定した斜め方向変位、せん断変位および目視観察も考慮して決定した。図-16 より、高温履歴による RC はりのたわみへの影響は確認されなかった。また、図-17 および図-18 より、Normal temp B の結果を除けば、High temp の斜め方向変位およびせん断変位は Normal temp A に比べて大きくなる。Normal temp B の変位がその他の RC はりに比べて大きいのは、図-8 に示すように、せん断変位計測定範囲内にひび割れが 2 本生じたためと考えられる。

本研究で得られたせん断耐力のまとめを表-6 および図-19 に示す。表中および図中の計算値($\tau_{cr,calc}$)は RC 部材のせん断耐力の土木学会示方書式の原式である二羽らの

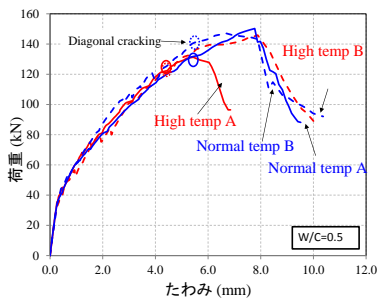


図-16 荷重-たわみ曲線

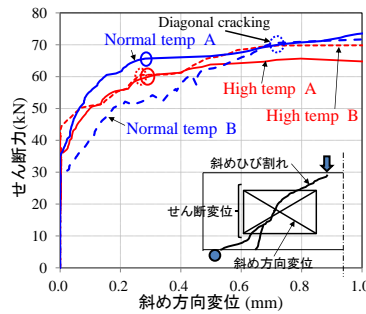


図-17 せん断力と斜め方向変位の関係

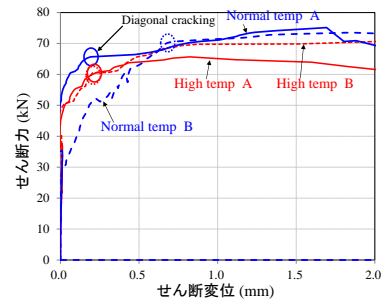


図-18 せん断力とせん断変位の関係

表-6 せん断耐力の比較

項目	せん断耐力						影響要素							
	実測値		二羽式による計算値				圧縮強度の1/3乗		等価鉄筋比の1/3乗		引張強度と特性長さ		連成効果(比)	
	荷重 V_c kN	耐力 $\tau_{cr,exp}$ N/mm ²	荷重 $V_{c,calc}$ kN	耐力 $\tau_{cr,calc}$ N/mm ²	比	$\tau_{cr,exp}/\tau_{cr,calc}$	f'_c ^{1/3} N/mm ²	(100 p_{se}) ^{1/3} 比	$f_t l_{ch}$ ^{1/4} N/mm	比	f'_c ^{1/3} · (100 p_{se}) ^{1/3} 比	$f_t l_{ch}$ ^{1/4} · (100 p_{se}) ^{1/3} 比	比	比
High temp-A	121.3	1.21	0.89	108.4	1.08	1.12	3.40	0.97	4.12	0.98	15.42	0.94	0.95	0.92
High temp-B	121.0	1.21				1.12			4.12					
Normal temp-A	131.3	1.31	1.00	111.9	1.12	1.17	3.51	1.00	4.19	1.00	16.38	1.00	1.00	1.00
Normal temp-B	141.1	1.41				1.26			4.20					

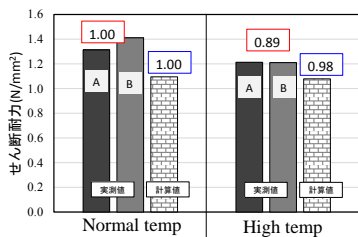


図-19 せん断耐力に及ぼす高温履歴の影響

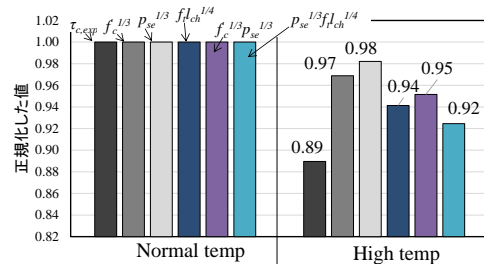


図-20 影響要素の分析

式(3)で求めた値である。また、図-19には Normal temp のせん断耐力を1とした時のせん断耐力比も示している。

$$\tau_{cr,cal} = V_{cr,cal} / bd$$

$$= 0.2f'_c{}^{1/3}(d/1000)^{-1/4}(100p_s)^{1/3}(0.75+1.4/(a/d)) \quad (3)$$

ここで、 f'_c : コンクリートの圧縮強度、 d : 有効高さ、 p_s : 引張鉄筋比、 a : せん断スパン長、 b : 部材幅

図-19より、2体の High temp のせん断耐力はいずれも 1.21N/mm²であり、Normal temp に比べて8~14%低下した。しかし、二羽式で求めた $\tau_{cr,cal}$ は実測値より High temp の場合は平均で約12%、Normal temp の場合は平均で約21%小さく、安全側での評価が可能である。

上記の二羽式(3)ではコンクリートにかかわるせん断抵抗を圧縮強度の1/3乗で表現し、鉄筋比の影響も1/3乗で考慮している。高温履歴によって小さくなった圧縮強度の影響度を調べるため、Normal temp の表-4に示す圧縮強度の1/3乗を1としたときの High temp のその比率を表-6と図-20に示す。また、同図表に既往の研究²⁾で提案されている式(4)で求めた等価鉄筋比の1/3乗の影響度も同様に示している。

$$p_{se} = \{\epsilon_s / (\epsilon_s - \epsilon_{s0,def})\} p_s \quad (4)$$

ここで、 ϵ_s : せん断スパン中央断面における斜めひび割れ発生直前の曲げ理論による鉄筋ひずみ、 $\epsilon_{s0,def}$: 引張鉄筋位置のコンクリート応力が0となる鉄筋ひずみ

これらの結果から、High temp の圧縮強度の1/3乗が Normal temp の結果に比べて比率が0.97となり、約3%小さくなる。等価鉄筋比の1/3乗の比率は0.98となり、約2%小さくなる。また、図表中に示しているようにこれらの比率の積で連成効果を調べると High temp の比率は0.95であり、約5%小さく、図-19に示す実測せん断耐力の低下率の11%よりは小さい。そのため、既往の評価方法ではせん断耐力の低下が説明できていない。これは表-6でみられるように圧縮強度の1/3乗と等価鉄筋比の1/3乗における差が小さいからだと考えられる。

そこで、破壊力学の観点から Gustafson ら⁶⁾が提案する引張強度と特性長さ(表-3に示す)の影響を考慮する以下の式(5)に即し、検討した結果を表-6と図-20に示す。また、これらの影響と等価鉄筋比の連成効果も同図に示している。

$$\tau_c / f_t \propto (d/l_{ch})^{-1/4} \quad (5)$$

ここで、 τ_c : せん断耐力、 f_t : 引張強度、 l_{ch} : 特性長さ

これらの結果から、 $f_t l_{ch}^{1/4}$ の影響は比較的大きく、High temp の結果が Normal temp に比べて比率が0.94になり、約6%小さくなる。また、等価鉄筋比との連成効果を見るために比率を除してみると0.92となり、約8%小さくなる。これは上記の既往の評価方法よりはせん断耐力の低下率に近くなり、引張強度と特性長さの影響が大きいと推察できる。このことから、実験数は少ないの

で断定はできないが、高温履歴を考慮するには破壊力学の観点からの評価も検討する余地があると考えられる。

4. 結論

本研究の範囲内で明らかになった事項をまとめると以下のとおりである。

- (1) 高温履歴を受けた高炉 B 種コンクリートの圧縮強度、割裂引張強度およびヤング係数は若い有効材齢においては常温養生と同程度の傾向を示したが、有効材齢が長期になると屋内常温養生の結果はいずれの場合も高温履歴の結果より大きくなる傾向が見られた。
- (2) 高温履歴条件下では、常温養生の場合と比較して、自己収縮ひずみおよびそれによる鉄筋ひずみは進行が早く、載荷時の有効材齢およそ140日では1.5~2倍それぞれ大きかった。
- (3) 高温履歴を受ける高炉 B 種 RC はりの曲げひび割れ発生モーメントは常温養生を行ったはりに比べて小さくなったが、鉄筋応力度=200N/mm²時では曲げひび割れ幅は同程度であった。
- (4) 高温履歴を受ける高炉 B 種 RC はりのせん断耐力は常温養生のはりと比べ8~14%低下した。この低下は式(3)の圧縮強度の1/3乗よりも式(5)の引張強度と特性長さでより正確に説明できる可能性があった。
- (5) さらにデータの蓄積をし、上記結論の信頼性を高める必要がある。

参考文献

- 1) 宮澤伸吾, 佐藤良一, 杉山浩司: 高温履歴を受ける高炉セメントコンクリートの自己収縮予測式, コンクリート工学年次論文集, Vol.30, No.1, pp.465-470, 2008
- 2) Sato, R. and Kawakane, H.: A new concept for the early age shrinkage effect on diagonal cracking strength of reinforced HSC beams, Journal of Advanced Concrete Technology, Vol.6, No.1, pp. 45-67, 2008.
- 3) 日本コンクリート工学協会: コンクリートの破壊特性の試験方法に関する調査研究委員会報告書, 2001.
- 4) JSCE(2007): コンクリート標準示方書, 設計編, p.51
- 5) 国森亮平, 島崎磐, 六郷恵哲, 森本博昭: 若材齢コンクリートの線膨張係数に関する実験的研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.22, No.2, pp.1033-1038, 2000.6
- 6) Gustafson, P. J., Hillerborg, A., 1988. Sensitivity in Shear Strength of Longitudinally Reinforced Concrete Beams to Fracture Energy of Concrete, ACI Structural Journal, May-June, pp.286-294, 1988.