論文 寸法および鉄筋比の異なる膨張 RC はりのせん断強度評価

笹田 航平*1・宮本 和也*2・半井 健一郎*3・佐藤 良一*4

要旨:コンクリートの膨張が RC はりのせん断強度に及ぼす影響を検討するため,有効高さ 250mm,500mm で,引張鉄筋比 0.8%,1.6%となる 4 種類,計 8 体の RC はりを用いて曲げせん断試験を実施した。そして,コンクリートの収縮がせん断強度に与える影響を評価する等価引張鉄筋比の概念を膨張の影響の評価に適用し,評価の妥当性を検証した。膨張コンクリートを用いた RC はりのせん断強度の実験値とせん断強度評価式による算定値を比較した結果,等価引張鉄筋比の概念を二羽式に導入することで実験値に対する算定値の比の平均が 1.16 から 1.06 に改善され,標準偏差も小さくなり,評価精度が向上した。 キーワード:膨張コンクリート,RC はり,せん断強度,鉄筋比,等価引張鉄筋比,有効高さ

1. はじめに

近年,鉄筋コンクリート(以下, RC)構造物の収縮ひ び割れ制御の要求が高まっており,コンクリートの収縮 が構造物の性能に及ぼす影響の評価や制御に関する研 究が注目されている。収縮補償,さらにはケミカルプレ ストレスの導入も可能な膨張コンクリートの利用も増 えてきている。コンクリートの膨張によって RC はりの せん断強度が向上することが知られている¹⁾。

その評価手法として、膨張を拘束することにより導入 されるケミカルプレストレスを軸力とみなして考慮し た方法が提案されている^{2),3)}。その他に体積変化を考慮 した RC はりのせん断強度の評価手法として、著者らが 高強度コンクリートの過大な自己収縮の影響を考慮す る手法として等価引張鉄筋比の概念⁴⁾を提案した。

等価引張鉄筋比の概念は,収縮による載荷前後の引張 鉄筋ひずみ変化量の増大を,機能的に引張鉄筋比が小さ くなることと等価であるとみなすもので,この概念を導 入すると収縮によるせん断強度の低下を精度良く評価 可能なことが示されている。

等価引張鉄筋比の概念は、その後の研究によって、過 大な自己収縮を伴う場合のみならず、高い単位水量や高 収縮骨材使用によって過大な乾燥収縮を伴うコンクリ ートを用いた RC はりのせん断強度の評価精度を向上さ せることが報告されている ^{5,0}。膨張コンクリートを用 いた RC はりのせん断強度の評価への拡張も試みられて おり、ケミカルプレストレスを軸力とみなして考慮した 場合と同等以上の評価精度が示されている ⁷。しかし、 普通強度の膨張コンクリートを用いた RC はりにおいて は有効高さ 190mm の供試体に対する適用例しかなく、 寸法の影響に関して実験的な検討はなされていない。 そこで本検討では、水結合材比 50%の普通強度レベル で、ケミカルプレストレスを導入した有効高さ 250mm お よび 500mm の RC はり供試体の静的載荷試験を実施し、 普通強度膨張 RC はりにおける等価引張鉄筋比の概念を 用いたせん断強度評価式(以下,等価式)の適用性を検 討した。なお、本論文におけるせん断強度は斜めひび割 れが発生した時に作用しているせん断力を断面積(=は り幅×有効高さ)で除した断面平均せん断強度とする。

表-1 コンクリートの使用材料

1	材料	記号	種類/物性
	水	W	工業用水
セ	メント	С	普通ポルトランドセメント 密度:3.16g/cm ³ ,比表面積:3270cm ² /g
混	和材	EX	低添加型石灰系膨張材(標準添加 20kg/m ³) 密度:3.16 g/cm ³ ,比表面積:3450 cm ² /g
細	晴材	S	砕砂(石英粗面岩),粗骨材最大寸法:20mm 表乾密度:2.62g/cm ³ ,吸水率:1.55%
粗	1骨材	G	砕石(石英粗面岩) 表乾密度:2.65g/cm³, 吸水率:0.379%
混	和剤	AE	AE 減水剤標準型 I 種

表-2 コンクリートの配合

水結合材比	細骨材率	単位量 kg/m ³									
%	%	W	С	EX	S	G	AE				
50	45.1	175	320	30	791	976	2.63				

表-3 RC はり供試体諸元

		寸	法		軸方向鉄筋					
供試体名	d mm	a mm	b mm	a/d	<i>ps</i> %	fy N/mm ²	Es kN/mm ²			
Ex-0.8-25C,D	250	750	200		0.794 (D16)	1062	186			
Ex-1.6-25A,B	230			3	1.52 (D22)	1197	201			
Ex-0.8-50A,B	500	1500			0.760 (D22)	1197	201			
Ex-1.6-50A,B	300				1.59 (D32)	1208	201			

※ここで, d: 有効高さ, a: せん断スパン, b: はり幅, ps: 引張鉄筋比, fj: 軸方向鉄筋の降伏強度, Es: 弾性係数 を示す。※鉄筋比の値の右の() は使用鉄筋径を示す。

*1 広島大学大学院 上学研究科社会基盤埬項上字専攻(字生会	·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 広島大学大学院 工学研究科社会基盤環境工学専攻

*3 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)

*4 広島大学大学院 工学研究院社会環境空間部門特任教授 工博(正会員)

2. 実験概要

2.1 コンクリートの使用材料と配合

表-1に、本検討に用いたコンクリートの材料を示す。 セメントには普通ポルトランドセメントを使用し、混和 材料には低添加型の石灰系膨張材および AE 減水剤を用 いた。膨張材は標準添加量よりも多い 30kg/m³をセメン トに内割で添加した。表-2に、コンクリートの配合を 示す。水結合材比を 50%、単位水量は 175kg とした。す べての供試体で同一の配合のコンクリートを用いた。

2.2 コンクリートの力学特性

(1) 材料強度

RC はり供試体に使用したコンクリートの強度を確認 するため、圧縮強度、静弾性係数試験用にΦ100×200mm の円柱供試体を軽量樹脂型枠で作製し、割裂引張強度試 験用にΦ150×200mmの円柱供試体を鋼製型枠で作製した。 養生は封緘養生とし、養生場所を RC はり供試体と同様 とした。はりの載荷試験材齢に合わせ強度試験を実施し、 試験数はバッチごとに5体とした。バッチ内の試験の結 果に±5%の範囲を超えるばらつきがあった場合には、範 囲外の結果を棄却、再平均した。

(2) 拘束膨張量

JIS A 6202 の A 法により拘束状態の膨張ひずみを計測 した。拘束棒(呼び名 11mm,鉄筋比 0.96%)および拘束端 版(厚さ 11mm)からなる拘束治具を用いて,100×100× 360mmの角柱供試体を 3 体作製した。養生は,打込みか ら材齢1日までは温度管理せず上面をアルミ粘着によっ て封緘した。それ以後は 20℃の水中に存置した。ただし, 拘束膨張ひずみはダイヤルゲージに代替して拘束棒の 拘束区間中央に 2 枚貼付したゲージ長 5mm の箔ひずみ ゲージにより計測した。供試体は3体作製し、拘束膨張 ひずみは平均した値を用いた。

2.3 RC はり供試体概要

(1) 諸元

RC はり供試体の概要を図-1 に, RC はり供試体諸元 を表-3 に示す。主鉄筋は引張鉄筋のみ使用し,スパン 内には圧縮鉄筋やせん断補強鉄筋を配筋しなかった。主 鉄筋に使用した鉄筋の呼び径は表-3 の鉄筋比の枠に() を付けて示した。載荷時の主鉄筋の定着を確保するため, RC はり供試体の支点位置より外側にスターラップを配 筋するとともに,鉄筋のフック加工あるいはアンカープ レートを設けた。

引張鉄筋比の影響を確認するために、引張鉄筋比を約 0.8%とした Ex-0.8 シリーズ、約 1.6%とした Ex-1.6 シリ ーズを検討の対象とした。有効高さの影響を確認するた め、各シリーズで、有効高さ 250mm、500mm の 2 水準 を作製した。鉄筋比と有効高さの組み合わせから4 種類 の諸元の異なる供試体を各 2 体、合計 8 体の RC はり供 試体を作製した。供試体名称は Ex-(鉄筋比[%])-(有効高 さ[cm])-供試体番号とした。

(2) 養生条件

RC はり供試体は,温湿度が管理されていない屋内に 存置し,その室内の温湿度を計測した。

乾燥を防いで十分なケミカルプレストレスを導入す るため、打込み直後に打込み面をラップフィルムおよび 湿布で覆い、さらに型枠全体にブルーシートを掛けた。 また、材齢7日以降に型枠を解体して供試体表面をアル ミ粘着テープで被覆し、載荷試験まで封緘状態を維持し た。



(3) 鉄筋ひずみの経時変化計測

打込み直後から鉄筋ひずみの経時変化を計測し,載荷時に蓄積された鉄筋ひずみを把握した。計測位置は図-1に示したように載荷点から 1.5d とし,貼付した温度補 償型の箔ひずみゲージ(ゲージ長 5mm)により計測した。 両せん断スパンのひずみを平均した値をせん断スパン 内の鉄筋ひずみの代表値とみなした。RC はり供試体の 内部温度を支点から約 150mm 外側の鉄筋上面で熱電対 により温度を計測した。型枠は,底面および側面に塩化 ビニールシートを2重に被覆し,端面には発泡ポリスチ レンボードを貼付し,型枠を解体するまで型枠によるは り軸方向の拘束を低減させた。

(4) 載荷試験

載荷試験は単純支持条件で2点集中荷重による静的載 荷とした。荷重,支間中央たわみ,せん断スパン内の変 形,鉄筋ひずみをそれぞれ計測し,荷重ごとにひび割れ 状況を観察した。

図-1に示した6変位計を1組として設置した変位計 群からはせん断変位および鉛直開口方向変位を求めた。 本論文において,せん断変位は斜めひび割れの界面で生 ずる変位差の鉛直方向成分である。鉛直開口方向変位と せん断変位は関連したはりの変形指標であるが,せん断 変位は計測空間内の平均値であり,鉛直開口方向変位は 計測断面内の平均値である。これらの荷重とそれに対応 した変形を計測し,破壊に至るまでの挙動を追った。



3. 実験結果および考察

3.1 コンクリートの特性

(1) コンクリートの力学特性

圧縮強度,静弾性係数,割裂引張強度の試験結果を表 -4に示す。載荷時における圧縮強度は33.4N/mm²~54.6 N/mm²,静弾性係数は29.0kN/mm²~35.2kN/mm²であっ た。バッチ間およびEx-0.8, Ex-1.6間で圧縮強度および 静弾性係数に有意な差異が生じた。これは,後述するよ うな打込みおよび養生中の温度や材齢の違いによるも のと考えられた。

(2) 拘束膨張ひずみ

拘束膨張試験において経時的に計測した膨張ひずみ を図-2 に示す。Ex-0.8 シリーズのバッチに対応した拘 束膨張ひずみは材齢184日まで計測できた。ただし材齢 8.1 日から 24.0 日までは計測の不備によってデータを欠 損したため、その間のひずみの変化を無視した。Ex-1.6 シリーズのバッチに対応した拘束膨張ひずみは材齢 82 日まで計測できた。Ex-0.8, Ex-1.6 それぞれの拘束膨張ひ ずみは、材齢7日時点で228×10-6,211×10-6,材齢28日 時点で 241×10-6, 230×10-6 程度であった。その後はしば らく一定値を保ったのち、材齢約 91 日程度からわずか に減少する傾向を示し、材齢 91~184 日間に拘束棒の膨 張ひずみが約 20×10⁻⁶ 消失した。これはケミカルプレス トレスによってコンクリートのクリープ変形が生じた ことによるものと思われる。また、材齢初期の膨張量の シリーズ間での差異は、材齢1日までの温度履歴の差に よるものと考える。

3.2 RC はりの鉄筋ひずみの経時変化

Ex-0.8, Ex-1.6 シリーズの RC はり供試体のせん断ス パン中央に生じた鉄筋ひずみ,内部温度を図-3,4に示 す。載荷時の鉄筋ひずみを表-4に示す。

材齢 28 日において, Ex-0.8 シリーズの鉄筋ひずみは 約 174×10⁻⁶~200×10⁻⁶ であり, Ex-1.6 シリーズの鉄筋ひ ずみは約 106×10⁻⁶~140×10⁻⁶ であった。また, 載荷時の 鉄筋ひずみは 82×10⁻⁶~196×10⁻⁶ であった。



Ex-1.6 シリーズの鉄筋ひずみは, Ex-0.8 の鉄筋ひずみ に比して小さい傾向があった。RC はりの鉄筋比が大き くなると, コンクリートに対する鉄筋の引張剛性が相対 的に大きくなるため, 鉄筋に蓄積された引張ひずみが減 少したと考えられる。さらに, 有効高さ 500mm の供試体 では, 有効高さ 250mm の供試体に比して鉄筋ひずみが 小さくなる傾向が見られた。圧縮鉄筋のない矩形断面の RC はりは, 寸法の増大に伴い, RC はりに作用する膨張 軸合力, 膨張軸合力の作用位置の偏心量, および RC は りの曲げ剛性は増加する。本論文の RC はり供試体は圧 縮鉄筋のない矩形断面であり,曲げ剛性の増加に対して 曲げモーメント2乗の増加が卓越したと考えられる。膨 張コンクリートのなす仕事量が一定とし,ひずみエネル ギーの蓄積ですべて消費されるとすると,曲げモーメン トによるひずみエネルギーの蓄積が増加し,軸力による ひずみエネルギーの蓄積が減少したと考えられる。これ らの定量的な検討は今後の検討課題とする。

また, Ex-0.8 シリーズでは材齢 50 日以後に鉄筋ひず



※ 図中の黒太線は進展した斜めひび割れ,黒細線は載荷により生じたひび割れを示す。
※※図中の青線,赤線,橙線はせん断スパン内の変位計を示す。
橙線は斜めひび割れが発生を記録した1組のせん断スパン内の変位計群を示す。
赤線は斜めひび割れ発生根拠とした鉛直開口変位の計測位置、あるいはせん断変位計の計測位置を示す。



図-5 ひび割れ図面(斜めひび割れ発生平均応力時)

みが減少したが、Ex-1.6 シリーズは材齢 50 日以後に鉄 筋ひずみが増加した。ひずみの変化は供試体の温度と相 関性が見られ、温度の上昇とともにひずみは減少した。

鉄筋の線膨張係数は約 11.8×10-6 /℃, コンクリート の線膨張係数は約 10.2×10⁻⁶ /℃であり,鉄筋に比べて やや線膨張係数の小さなコンクリートに鉄筋の体積変 化が拘束され、鉄筋には温度上昇時には圧縮ひずみ、温 度降下時には引張ひずみが蓄積されたと考えられる。な お、定量的な影響評価については今後の課題とする。

3.3 載荷試験結果

載荷試験結果として、荷重と鉛直開口方向変位の関係 を図-6,9に、せん断変位の関係を図-7,10に、支間 中央たわみの関係を図-8, 11 に示す。斜めひび割れ発 生後のひび割れ図面および変形の計測領域を図-5 に示 す。本論文では、ひび割れ観察,鉛直開口方向変位、あ るいはせん断変位により斜めひび割れ発生荷重を決定 した。図-6,7,9,10において、観察に基づく斜めひび 割れ発生荷重付近で変形の急増あるいは荷重低下が生 じた荷重を斜めひび割れ発生とした。図-6,7,9,10の 鉛直開口方向変位やせん断変位は,破壊側で判定に用い た1組の変位計を図面上に赤色と橙色で強調した。ただ し赤色が根拠となった変位計である。決定したせん断強 度を表-4 に示し、根拠とした荷重変位関係の名称を表 -4において、実験値の下の()内に示した。また決定し た斜めひび割れ発生点を荷重-変位関係上に〇印で示 した。

図-12のようにせん断強度は, Ex-1.6シリーズに対し て Ex-0.8 が有効高さ 250mm の場合に 24%, 500mm の場 合に 17%大きくなった。一方, 有効高さ 500mm 供試体 に対して,有効高さ 250mm 供試体は Ex-0.8 で 27%, Ex-1.6 で 29%, せん断強度が小さくなった。普通コンクリー トと同様の傾向が膨張コンクリートにも見られた。

斜めひび割れ発生後のひび割れ図面を図-5 に示す。 ここに図面上の格子間隔は、供試体の有効高さ5分の1 である。Ex-0.8 シリーズの曲げひび割れの進展距離がよ り長い傾向が見られた。二次的なひび割れが曲げひび割 れから分岐する高さが低く,鉄筋位置付近からの分岐で あった。有効高さ 500mm 供試体はひび割れ本数が増え, 主たる斜めひび割れ発生位置が支点側に近づいた。

	載荷時					鉄筋比			せん断強度(斜めひび割れ系				É)		最大	
供試 体名	材齢	圧縮	静弾性	引張	鉄筋 ひずみ	公称 比率	等価 比率	実験値	二羽式			等価式			せん断強度	and to be dea
		強度	係数	強度					算定値	実験値	直/算定値	算定値	実験値	直/算定值	(実験値)	破壞
	day	fc N/mm²	Ec kN/mm ²	ft N/mm²	$\overset{\epsilon_s}{\times 10^{\text{-6}}}$	ps %	p _{se} %	$\begin{array}{c} \tau_{c,exp} \\ N/mm^2 \\ (*) \end{array}$	$\begin{array}{c} \tau_{c,cal} \ N/mm^2 \ (**) \end{array}$	-	平均 (標準偏差)	$\begin{array}{c} \tau_{c,cal,e} \\ N/mm^2 \\ (**) \end{array}$	-	平均 (標準偏差)	$\begin{array}{c} \tau_{u,exp} \\ N/mm^2 \end{array}$	形態
Ex-0.8-25C	278	54.6	35.2	3.41	82	0.794	0.852	1.42 (SD)	1.21	1.17		1.24	1.15	1.06 (0.10)	1.65 1.41 1.01	斜め 引張
Ex-0.8-25D	281	54.6	35.2	3.41	104	0.794	0.867	1.27 (SD)	1.21	1.05		1.25	1.02			斜め 引張
Ex-0.8-50A	301	48.8	33.5	3.51	87	0.760	0.838	1.01 (SD)	0.965	1.04		1.00	1.01			斜め 引張
Ex-0.8-50B	308	54.6	35.2	3.41	114	0.760	0.859	0.961 (SD)	1.00	0.959	1.13	1.04	0.921		0.963	せん断 圧縮
Ex-1.6-25A	140	33.4	30.3	3.03	196	1.52	2.13	1.68 (VO)	1.27	1.32	(0.12)	1.43	1.18		2.16	せん断 圧縮
Ex-1.6-25B	143	34.4	29.0	3.02	144	1.52	1.95	1.68 (VO)	1.29	1.30		1.40	1.20	1.84	せん断 圧縮	
Ex-1.6-50A	130	33.4	30.3	3.03	117	1.59	2.06	1.20 (VO)	1.09	1.10		1.19 1.01		1.20	せん断 圧縮	
Ex-1.6-50B	121	34.4	29.0	3.02	150	1.59	2.22	1.17 (VO)	1.10	1.07		1.23	0.957		1.17	せん断 引張

表-4 実験結果

せん断強度内の()は、強度の決定に用いた変位の種類の略記を示し、 SD:せん断変位、 VO: 鉛直開口方向変位とする。 (算定値)-(実験値)とする。



図-12 せん断強度(実験値)



図-13 せん断強度の評価比較

3.4 せん断強度の評価手法の適用性の検討

本節では、二羽式 ⁸および等価引張鉄筋比の概念を二 羽式に導入した算定式(以下,等価式)を用いて評価し たせん断強度の算定値を、3.3 において決定したせん断 強度の実験値と比較する。検討対象とした二羽式および 等価式を式(1)および式(2)、(3)に示す。

$$\tau_{c,cal} = 0.20 f_c^{\prime \frac{1}{3}} p_s^{\frac{1}{3}} \left(\frac{d}{1000}\right)^{-\frac{1}{4}} \left(0.75 + \frac{1.4}{a/d}\right) \quad (1)$$

$$\tau_{c,cal,e} = 0.20 f_c'^{\frac{1}{3}} p_{s,e}^{\frac{1}{3}} \left(\frac{d}{1000}\right)^{-\frac{1}{4}} \left(0.75 + \frac{1.4}{a/d}\right)$$
(2)

$$p_{s,e} = \frac{\varepsilon_s}{\varepsilon_s - \varepsilon_{s0,def}} p_s \tag{3}$$

ここに、 $\tau_{c,cal}$ および $\tau_{c,cal,e}$ はせん断強度の評価値、 f'_{c} : コンクリートの圧縮強度、 p_{s} :公称引張鉄筋比、 $p_{s,e}$:等 価引張鉄筋比:d、有効高さ、a:せん断スパン、 ε_{s} :曲 げ理論を用いて求めた斜めひび割れ発生時の載荷点か ら 1.5d の引張鉄筋ひずみ、 $\varepsilon_{s0,def}$:コンクリート応力が ゼロ状態になる時の載荷点から 1.5d の引張鉄筋ひずみ とする。

せん断強度の実験値を表-4,図-13に、算定値を表 -4に、示す。二羽式と等価式の算定値の差は、膨張に よる鉄筋ひずみの大小あるいは供試体諸元により、約 0.03~0.16N/mm²であった。体積変化の大きい場合に、せ ん断強度レベルに対して有意な差として算定値に反映 された。

式(1),(2)の評価精度を相互比較するために,実験値を 算定値で除して正規化した値を用いた,各供試体に対す る正規化値を表-4,図-14に示す。ここでは二羽式で 除したものを実験値/二羽式とし,等価式で除したもの を実験値/等価式とする。

等価式は, Ex-0.8-50Bの例を除き,二羽式に対してより1に近い値になった。また,実験値/二羽式の平均値は1.13,平均値に対する標準偏差は0.12であり,実験値/等価式の平均値は1.06,平均値に対する標準偏差は0.10であった。等価式を用いると,実験値/算定値が1により近接し,標準偏差の程度も抑えられた。すなわち,本検討において評価精度が向上した。

4. まとめ

膨張コンクリートを用いた RC はり(有効高さ250mm, 500mm,鉄筋比0.8%,1.6%)の載荷試験を実施し,せん 断強度の評価手法の適用性について検討を行った。本試 験により得られた知見を次に示す。

- (1) 材齢 184 日までの拘束膨張試験の測定において,材 齢 28 日程度までは膨張し,その後はしばらく一定値 を保ったのち,わずかに減少する傾向を示した。この ひずみの減少はケミカルプレストレスによってクリ ープ変形が生じたことによるものと思われる。
- (2) RC はり供試体における鉄筋ひずみは、供試体の温度 と相関性が見られ、温度の上昇/下降とともに引張ひ ずみは減少/増加した。これは鉄筋に比べてやや線膨 張係数の小さなコンクリートに鉄筋の体積変化が拘 束され、鉄筋には温度上昇時には圧縮ひずみ、温度降 下時には引張ひずみが蓄積されたと考えられる。
- (3) RC はりのせん断強度の評価は、等価鉄筋比の概念を 二羽式に導入することで実験値に対する算定値の比 の平均が 1.16 から 1.06 に改善され、標準偏差も 0.12 から 0.10 小さくなり、精度が向上した。

謝辞

本研究は科学研究費補助金 24246077(代表:佐藤良一) の助成を受けたものである。本紙面を借りて厚く御礼申 し上げる。

参考文献

- 同村甫, 辻幸和:ケミカルプレストレストコンクリート部材の力学的諸性状,セメント技術年報,1972
- 向井孝男ほか: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集, Vol.9, No.2, pp.287-292, 1987.
- 3) 栖原健太郎:膨張材によるケミカルプレストレインを 考慮したCPC部材の限界状態設計法,群馬大学大学 院学位論文,2008.
- 4) 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, Vol.65, No.2, pp.178-197, 2009.4
- 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) 三谷 昂大ほか:収縮による普通強度 RC はりのせん断 強度低下とその評価, コンクリート工学年次論文集, Vol.33, No.2, pp.721-726, 2011.
- 7) 松下翔太,半井健一郎: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,コンクリート工学年 次論文集, Vol.35, No.2, pp.649-654, 2013.
- 8) 二羽淳一郎ほか: 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.