# 論文 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

森戸 重光<sup>\*1</sup>·半井 健一郎<sup>\*2</sup>

要旨:乾燥収縮によって RC 構造物中のコンクリートに生じる収縮応力および収縮ひび割れがせん断耐力に 及ぼす影響を検討するため,収縮量の異なるコンクリートを用いた RC はり供試体による載荷実験を行った。 その結果,コンクリートの収縮の増加に伴う斜めひび割れ発生荷重の低下や収縮ひび割れによる斜めひび割 れ発生荷重のばらつきの増加を確認した。また,斜めひび割れ発生後のせん断補強筋の負担分は変化しない ことを確認した。斜めひび割れ発生荷重の低下は,収縮ひび割れが生じない範囲では,既存の等価引張鉄筋 比の概念を二羽式に用いることで,比較的精度よく評価できることを確認した。 キーワード:乾燥収縮,収縮ひび割れ,収縮応力,せん断耐力,等価引張鉄筋比

### 1. はじめに

コンクリート構造物中のコンクリートに発生する収 縮ひずみが,部材内部の鉄筋や接合部材などによって拘 束されると、コンクリートに収縮応力が発生する。この 収縮応力は,構造体中のコンクリートの見かけの引張強 度を低下させ,耐荷力の低下や収縮ひび割れによる耐久 性の低下を引き起こす原因となる。

高強度コンクリートの自己収縮により生じる収縮応 カに関しては、せん断耐力に及ぼす影響に関する実験結 果の報告や、収縮の影響を考慮したせん断耐力の評価方 法の提案がなされている<sup>1),2)</sup>。

一方,近年の骨材の品質低下によるコンクリートの収縮ひずみの増大や高耐震化のための鉄筋量の増大などにより,乾燥収縮ひび割れが発生する可能性が高まっている。ひび割れが先行して生じた RC 部材のせん断耐力に関しては,これまでにも様々な研究が行なわれ,特に,初期ひび割れや人工亀裂を生じさせた研究ではせん断耐力の向上が報告されている<sup>3),4)</sup>。しかし,これらの研究では,外荷重や埋設物によって損傷を導入した実験を行っているが,実構造物における収縮ひび割れの影響を議論するうえでは,ひび割れの存在に加え,収縮応力の影響を含めた議論が必要になるものと考えられる。

これまでに著者らは、乾燥収縮によって収縮ひび割れの生じた RC はり供試体がせん断耐力に及ぼす影響に関する研究を行なってきた<sup>5)</sup>。その中で、収縮ひび割れが 斜めひび割れに及ぼす影響について検討を行なってき たが、乾燥収縮による収縮応力の違いの影響や再現性の 検討などは十分でなかった。

そこで本論文では、乾燥収縮を鉄筋が拘束することで 発生した収縮応力および収縮ひび割れがコンクリート 構造物のせん断耐力に及ぼす影響を分析することを目 的とし、実験による検討を行うこととした。すなわち、 コンクリートの乾燥収縮を使用材料や配合によって変 化させ、異なる収縮応力、収縮ひび割れの生じた RC は り供試体を作製し、載荷試験を行い、収縮応力の増減や、 収縮ひび割れの進展状況がせん断耐力に及ぼす影響を 比較検討する。また、既存の自己収縮を対象とした評価 手法<sup>1)</sup>の適用性についても検討を行う。

### 2. 実験概要

# 2.1 コンクリートの配合

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 変化させたコンクリートを製造した。単位水量315kg/m<sup>3</sup> と大きくし、圧縮強度を約30N/mm<sup>2</sup>とした。単位水量の 増大に伴うブリーディングの発生を、石灰石微粉末を細 骨材に置換するとともに、分離低減剤を混入することに よって抑制させた。配合は表-1に示す全4種類で、前 報<sup>5)</sup>における配合A、B、D(前報ではCと記載)に、配 合Cを追加した。配合A、Bでは、2種類の収縮量が比 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/m<sup>3</sup>をセメントに置換するこ

|     |     | 単位量(kg/m <sup>3</sup> ) |      |     |            |     |     |     |     |           |           |      |
|-----|-----|-------------------------|------|-----|------------|-----|-----|-----|-----|-----------|-----------|------|
| 配合名 | W/B | 水                       | セメント | 膨張材 | 石灰石<br>微粉末 | 細骨材 | 粗骨材 | 粗骨材 | 粗骨材 | 収縮<br>低減剤 | 分離<br>低減剤 | AE剤  |
|     | (%) | W                       | С    | Ex  | L          | S   | G1  | G2  | G3  | SRA       | V         |      |
| А   |     |                         | 525  |     |            |     | 682 | _   |     |           |           |      |
| В   | 60  | 315                     | 525  |     | 200        | 350 |     | 692 |     | _         | 2         | 0.16 |
| С   | 00  |                         | 505  | 20  | 200        | 550 | —   |     | 735 |           | 2         |      |
| D   |     | 299                     | 303  | 20  |            |     |     | _   | 755 | 16        |           | 0.26 |

表-1 コンクリートの配合

\*1 小山レミコン(株) 統轄業務部 (正会員)

\*2 群馬大学大学院 工学研究科社会環境デザイン工学専攻准教授 博士(工学) (正会員)



表-2 RC はり供試体の諸元

図-1 RC はり供試体の形状寸法

とで,ひび割れの発生が懸念される材齢初期の急激な乾燥収縮を,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。なお,配合C,Dの粗骨材には,一般的なものを用いた。

# 2.2 供試体概要

# (1) RCはり供試体

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,前報と同様 に,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。せん断 補強筋の有無の RC はり供試体それぞれについて,7 体 ずつ,合計 14 体作製した。供試体名は,せん断補強筋 の無有 (N, S),配合 (A, B, C, D),同一条件供試体 の分類 (1, 2) を順に示している。

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を原点として,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。なお,ひずみ の計測には,自己温度補償型のひずみゲージを用いた。

作製した RC はり供試体は,打込み終了後,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,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。

# (2) 無拘束角柱供試体

コンクリートの自由収縮ひずみを測定するため,100×100×400mmの無拘束角柱供試体を,各 RC はり供試体の作製に合わせて3体ずつ作製した。RC はり供試体と同じ養生を行い,脱型を行った材齢24時間後から,コンタクトゲージ法(JISA 1129-2)により自由収縮ひず

みを測定した。無拘束角柱供試体は,RC はり供試体と 体積および比表面積が異なるため,収縮量の直接的な比 較はできないが,材料特性の把握を目的として計測した。

# (3) 強度試験用供試体

載荷時の圧縮強度および割裂引張強度を測定するため,直径 100mm,高さ 200mmの円柱供試体を,各試験用に3体,合計6体を,それぞれ各RC はり供試体とともに作製した。養生はRC はり供試体と同じとした。

### 2.3 載荷試験方法

RC はり供試体の載荷試験は、図-1 に示すように 2 点集中荷重による静的載荷とした。載荷試験中は、荷重、 スパン中央部のたわみ、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。

本研究での斜めひび割れの発生荷重の判定は,前報と 同様に, 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。な お,具体的な斜めひび割れ発生荷重の決定方法は,前報 を参照されたい。

# 3. 実験結果および考察

### 3.1 コンクリートの強度特性

RC はり供試体の載荷試験材齢におけるコンクリート の圧縮強度,ヤング係数,割裂引張強度を表-3 に示す。 これらの値は,同程度であり,供試体間のばらつきは小 さい。したがって,以下の RC はり供試体の載荷試験の 議論では,同等の強度レベルのコンクリートを用いた供

|        |     |                      | Los H                 | 中(石) 그 그 또           |  |
|--------|-----|----------------------|-----------------------|----------------------|--|
| ᄴᆖᆇᄮᆂᇩ | 材齢  | 圧縮強度                 | マンク                   | 刮袋り饭                 |  |
| 供試体名   |     |                      | 係剱                    | 独度                   |  |
|        | (日) | (N/mm <sup>2</sup> ) | (kN/mm <sup>2</sup> ) | (N/mm <sup>2</sup> ) |  |
| NA1    | 110 | 30.2                 | 19.0                  | 2.58                 |  |
| NA2    | 109 | 30.8                 | 18.8                  | 2.60                 |  |
| NB1    | 101 | 29.7                 | 17.5                  | 2.59                 |  |
| NC1    | 64  | 29.5                 | 20.8                  | 2.57                 |  |
| NC2    | 59  | 28.1                 | 19.8                  | 2.57                 |  |
| ND1    | 28  | 26.8                 | 19.7                  | 2.41                 |  |
| ND2    | 35  | 30.4                 | 19.7                  | 2.44                 |  |
| SA1    | 111 | 29.5                 | 19.0                  | 2.47                 |  |
| SA2    | 108 | 29.8                 | 18.6                  | 2.69                 |  |
| SB1    | 102 | 29.1                 | 18.6                  | 2.52                 |  |
| SC1    | 65  | 29.1                 | 20.5                  | 2.41                 |  |
| SC2    | 60  | 27.2                 | 18.2                  | 2.48                 |  |
| SD1    | 29  | 27.1                 | 18.4                  | 2.27                 |  |
| SD2    | 37  | 29.7                 | 19.7                  | 2.28                 |  |

表-3 コンクリートの強度特性

表-4 載荷試験直前の各鉄筋ひずみおよび収縮応力の値

|      | 上段鉄筋                 | 中段鉄筋                 | 下段鉄筋                 | 補強筋                  | 引張縁               | 鉛直方向       |
|------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|-------------------|------------|
| 供試体名 | ひずみ                  | ひずみ                  | ひずみ                  | ひずみ                  | 収縮応力              | 収縮応力       |
|      | (×10 <sup>-6</sup> ) | (×10 <sup>-6</sup> ) | (×10 <sup>-6</sup> ) | (×10 <sup>-6</sup> ) | $(N/mm^2)$        | $(N/mm^2)$ |
| NA1  | -199                 | -128                 | -101                 | _                    | 3.26*             | _          |
| NA2  | -183                 | -132                 | -131                 | I                    | 3.40 <sup>%</sup> |            |
| NB1  | -203                 | -130                 | -118                 |                      | 3.54 <sup>%</sup> | I          |
| NC1  | -103                 | -105                 | -101                 |                      | 2.32*             |            |
| NC2  | -124                 | -97                  | -79                  | -                    | 2.26 <sup>*</sup> |            |
| ND1  | 16                   | 25                   | 23                   |                      | -0.43             | I          |
| ND2  | 19                   | 2                    | -4                   | -                    | -0.14             |            |
| SA1  | -181                 | -133                 | -134                 | -284                 | 3.41 <sup>*</sup> | 0.19       |
| SA2  | -204                 | -141                 | -96                  | -326                 | 3.34 <sup>*</sup> | 0.22       |
| SB1  | -187                 | -127                 | -103                 | -283                 | 3.16 <sup>*</sup> | 0.19       |
| SC1  | -126                 | -97                  | -98                  | -86                  | 2.44 <sup>%</sup> | 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      |

試体の検討を行うことになる。

# 3.2 養生期間中に生じたひずみ

無拘束角柱供試体に生じた自由収縮ひずみの経時変 化の代表例を図-2 に,載荷試験開始直前の各鉄筋ひず みの値を表-4 に示す。

無拘束供試体で計測したコンクリートの自由収縮ひ ずみの最終値は、A、B シリーズでは、いずれにおいて も 1000×10<sup>6</sup>以上の大きな収縮ひずみとなった。C シリー ズでは、膨張材による初期膨張を示した後、乾燥収縮が 進行したため、間接的に収縮ひずみが低減された。そし て、D シリーズでは、膨張材と収縮低減剤の効果により、 ほぼ無収縮となった。なお、C、D シリーズでは、材齢1 日までの膨張量は含まれていない。

各位置の鉄筋ひずみに関しても,配合によるコンクリ ートの収縮の違いが同様に確認された。なお,収縮ひび 割れ発生時の鉄筋ひずみの変化は明確ではなかった。

# 3.3 収縮応力と収縮ひび割れの関係

各 RC はり供試体の載荷試験開始直前の各鉄筋ひずみ より求めた収縮応力の値を表-4 に、養生期間中に収縮 ひび割れの生じた A, B, C シリーズのひび割れ図の代 表例を図-3 に示す。ここで、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, C 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。

A, B シリーズでは、引張縁において引張強度を上回 る収縮応力を生じ、多数のひび割れが確認された。収縮 応力やひび割れ分布から判断し、鉛直方向のひび割れは 幅方向に貫通しているものと考えられる。また、特に A2, B シリーズでは、鉛直方向のひび割れのみならず、横方 向や斜め方向への収縮ひび割れの進展も確認された。こ れは、脱型時の室内の相対湿度が低かったため、材齢初 期からの急激な乾燥により表層の乾燥収縮が大きくな



図-3 収縮ひび割れ図

り、コンクリートの内部拘束によって、表層部分にひび 割れが発生したものと思われる。なお、せん断補強筋に 約300×10<sup>6</sup>と大きな収縮ひずみが生じているが、せん断 補強筋比が軸方向鉄筋比に比べ小さいため、収縮応力は ほとんど生じていない。そのため、せん断補強筋の有無

|      |         | 最大荷重 | Bmax Buo |         |          |      |            |
|------|---------|------|----------|---------|----------|------|------------|
| 供試体名 | 実験値 計算値 | 計算値  | 史睦佐/計質店  | 収縮考慮計算値 | 実験値/収縮考慮 | Pmax | FIIIdX-FVC |
|      | (kN)    | (kN) | 天殿间/訂昇间  | (kN)    | 計算値      | (kN) | (kN)       |
| NA1  | 112     | 134  | 0.84     | 116     | 0.97     | 151  | 39         |
| NA2  | 96      | 135  | 0.71     | 118     | 0.81     | 167  | 71         |
| NB1  | 97      | 133  | 0.73     | 115     | 0.84     | 133  | 36         |
| NC1  | 125     | 133  | 0.94     | 122     | 1.02     | 170  | 45         |
| NC2  | 123     | 131  | 0.94     | 119     | 1.03     | 157  | 34         |
| ND1  | 124     | 129  | 0.96     | 131     | 0.95     | 218  | 94         |
| ND2  | 131     | 134  | 0.98     | 136     | 0.96     | 162  | 31         |
| SA1  | 110     | 133  | 0.83     | 116     | 0.95     | 255  | 145        |
| SA2  | 100     | 133  | 0.75     | 115     | 0.87     | 260  | 160        |
| SB1  | 102     | 132  | 0.77     | 115     | 0.89     | 258  | 156        |
| SC1  | 122     | 132  | 0.92     | 120     | 1.02     | 283  | 161        |
| SC2  | 117     | 129  | 0.91     | 118     | 0.99     | 267  | 150        |
| SD1  | 129     | 129  | 1.00     | 131     | 0.98     | 281  | 152        |
| SD2  | 136     | 133  | 1.02     | 134     | 1.01     | 297  | 160        |

表-5 載荷試験結果一覧

によるひび割れの進展への影響は見られなかった。

C シリーズは, A, B シリーズよりも収縮応力が低減 されたが,収縮ひび割れがわずかながら確認された。た だし,ひび割れは上下縁に留まって進展はほとんど確認 されず,また本数も少ないことから,斜めひび割れの発 生に影響はほとんど無いと考えられる。

D シリーズでは,載荷直前の軸方向鉄筋ひずみが小さく,コンクリートにもほとんど応力が生じなった。ひび割れの発生も確認されなかった。

# 3.4 RCはり供試体の載荷試験結果

#### (1) 荷重とたわみの関係

荷重とスパン中央部のたわみの関係の代表例を図-4 に、載荷試験の結果一覧を表-5 に示す。図中には、二 羽式<sup>3)</sup>による斜めひび割れ発生荷重の計算値と修正トラ ス理論によるSシリーズの最大荷重の計算値を示した。

N シリーズでは、斜めひび割れ発生に伴う急激な荷重 の低下後、数回の荷重の増減を経た後に最大荷重が計測 され、破壊に至った。S シリーズでは、斜めひび割れ発 生に伴う急激な荷重低下は起きず、斜めひび割れにかか るせん断補強筋の降伏後、破壊に至った。

# (2) 斜めひび割れ発生荷重

各供試体の軸方向鉄筋の平均初期ひずみに対する,斜 めひび割れ発生荷重の計算値と実験値の比を図-5に, Nシリーズにおける各供試体の終局時の破壊側スパンの ひび割れ進展状況を図-6に示す。

図-5より,無収縮供試体であるDシリーズの斜めひ び割れ発生荷重がほぼ計算値と一致しているのに対し, 鉄筋の収縮ひずみが大きい供試体ほど実験値が低下し ていることがわかる。これは収縮による体積変化を鉄筋 が拘束することによって生じた収縮応力および収縮ひ び割れによるものと考えられる。また,収縮ひび割れの 生じた A, Bシリーズでは,斜めひび割れ発生荷重のば らつきが他よりも大きかった。このばらつきは,収縮ひ び割れの方向の違いによるものである。低下割合の大き



対する実験値の比

い NA2, SA2, NB1, SB1 では、収縮ひび割れが横およ び斜め方向に生じていたことで図-6 中の赤線に示す収 縮ひび割れが斜めひび割れを誘発したと考えられる。

#### (3) 斜めひび割れ発生後の荷重の増加量

図-7 に、軸方向鉄筋の平均初期ひずみに対する、斜

めひび割れ発生荷重(Pvc)後から最大荷重(Pmax)ま での荷重の増加(Pmax-Pvc)を示す。せん断補強筋のな い供試体(N)の無収縮供試体であるDシリーズにおい ては、斜めひび割れが載荷点下に進展し、タイドアーチ を形成し、荷重が増加した。また、ND1とND2では、 荷重の増加量にばらつきが見られた。これは、ND2にお いて斜めひび割れ発生後、タイドアーチを形成したが、 新たに生じた斜めひび割れが載荷点上に貫通し、斜め引 張破壊のような破壊形態に遷移したためである。

次に、収縮応力の生じた C シリーズでは、いずれもせん断圧縮破壊であったが、荷重の増加量が D シリーズよりも低下する傾向を示した。これは、図-6の斜めひび割れの載荷点下に潜り込む角度が、収縮応力により増大した結果、せん断力に抵抗する圧縮部コンクリート面積が小さくなるとともに、斜めひび割れ部のかみ合い作用による抵抗が減少したことが、最大荷重の低下につながったと考えられる。

一方, 収縮ひび割れの生じていた A・B シリーズは斜め 引張破壊であったが, せん断圧縮破壊である C・D シリー ズと同等かそれ以上にまで荷重の増加が見られた。これ は図-6 中の青線で示す鉛直方向に伸びた収縮ひび割れ が, 斜めひび割れの進展を阻害することで進展が遅くな り, 斜めひび割れ発生後の耐力の増加につながったと思 われる。なお, 耐力増加量のばらつきは, 鉛直方向に進 展した収縮ひび割れの本数に依存するものと思われる。

せん断補強筋を有する供試体(S)の斜めひび割れ発 生後の荷重の増加分は、収縮ひずみの違いによらずほぼ 同等であった。これは、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 強筋が受け持つ荷重の負担分が、斜めひび割れ発生後は 同等であったためと考えられる。これは、自己収縮の影 響を検討した既往の研究<sup>2)</sup>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。

# 3.5 収縮を考慮した斜めひび割れ発生荷重の算定式

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<sup>1)</sup>が 河金らによって提案されている。ここでは、せん断抵抗 要素である、圧縮部コンクリート、ひび割れ面でのかみ 合い、ダウエル作用の影響を総合的に評価し得る指標の ひとつとして、引張鉄筋比に着目している。すなわち、 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、せん断ひび割れ発生強度の影響を式(1)で示



図-6 終局時のひび割れ進展状況(Nシリーズ破壊側)



図-7 斜めひび割れ発生後の荷重の増加

す等価引張鉄筋比の概念を用いて評価している。

$$P_{s,e} = \frac{\varepsilon_s}{\varepsilon_s - \varepsilon_{s0,def}} P_s \tag{1}$$

ここで、 $\epsilon_s$ :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。

なお,斜めひび割れに発達する曲げひび割れ発生断面

は、本研究の実験結果も踏まえ、既往の研究<sup>1)</sup> と同様に 載荷位置から 1.5d(有効高さ)離れた断面を用いた。ま た、 $\epsilon_{s0,def}$ の具体的な計算方法も、既往の研究<sup>1)</sup> に従っ た。

この等価引張鉄筋比を,今回の実験の強度レベルを対象に含む二羽式に組み込み,乾燥収縮による影響を考慮したせん断ひび割れ発生強度を,式(2)で計算した。

$$\tau_{c} = 0.2 f_{c}^{\gamma/3} \left( 100 p_{s,c} \right)^{1/3} \left( d/10^{3} \right)^{-1/4}$$

$$\left( 0.75 + 1.4/(a/d) \right)$$
(2)

式(2)による計算結果一覧を表-5に、軸方向鉄筋の平 均初期ひずみごとに、斜めひび割れ発生荷重の収縮の影 響を考慮した計算値に対する実験値の比を図-8に示す。

図-8 より、収縮の影響を考慮することで、収縮ひび 割れの影響のない C, D シリーズの斜めひび割れ発生荷 重がほぼ計算値と一致した。一方、収縮ひび割れが生じ た A, B シリーズでは、実験値が大きい A1 では計算値 と近い値となったが、A2, B1 シリーズでは計算値より も最大で2割程度小さくなった。

これらより、収縮応力を受ける普通強度の RC はり供 試体の斜めひび割れ発生荷重は、斜めひび割れを誘発す るような収縮ひび割れを生じていない場合には、等価引 張鉄筋比の概念を二羽式に用いることで、評価可能であ ると考えられる。一方、斜めひび割れを誘発するような 収縮ひび割れを生じている場合には、過小評価するため 注意が必要である。

なお、本研究で用いた RC はり供試体の有効高さは 190mmの1種類のみである。寸法効果を含めた適用性に ついては、今後の検討課題である。

### 4. まとめ

本研究では、乾燥収縮によって発生した収縮応力およ び収縮ひび割れを導入した RC はり供試体の載荷試験を 行い、収縮応力および収縮ひび割れがせん断耐力に及ぼ す影響を検討した。本実験の範囲内において得られた知 見を以下に示す。

- 乾燥収縮による収縮応力の増加によって、斜めひび 割れ発生荷重が低下した。収縮ひび割れが生じた場 合には、ひび割れの進展状況によって斜めひび割れ を誘発することがあり、斜めひび割れ発生荷重のば らつきが大きくなった。
- 2) 鉛直方向に収縮ひび割れが存在する場合、せん断補 強筋のない供試体では、斜めひび割れ発生後に収縮 ひび割れが斜めひび割れの進展を阻害し、最大耐力 が増加した。
- さん断補強筋を有する供試体の斜めひび割れ発生
   後の荷重の増加分は、収縮の大小によらずほぼ同等



# 図-8 収縮の影響を考慮した斜めひび割れ発生荷重 の計算値に対する実験値の比

であった。

4) 斜めひび割れ発生荷重の低下は、収縮ひび割れが生じない範囲では、既存の等価引張鉄筋比の概念を二羽式に用いることで、比較的精度よく評価できることを確認した。斜めひび割れを誘発するような収縮ひび割れが生じた場合には、過小評価した。

## 謝辞

本研究の一部は,科学研究費補助金(基盤研究(A)・ 課題番号:20246073)および平成21年度建設技術研究 開発助成制度を得て実施したものである。また,本実験 の実施には群馬大学大学院修士課程江原正樹氏に多大 なご援助を頂いた。ここに記して,感謝の意を表す。

# 参考文献

- 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.
- 二羽淳一郎ほか: せん断補強筋を用いない RC はりのせん断強度式の再評価, 土木学会論文集, No.372, V-5, pp.167-176, 1986.8
- Pimanmas, A.et al. : Control of Crack Localization and Formation of Failure Path in RC Members Containing Artificial Crack Device, J. Materials. Conc. Struct., Pavements, JSCE, No.683, V-52, pp.173-186, 2001.
- 5) 森戸重光・半井健一郎:乾燥収縮ひび割れが 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.31, No.2, pp.751-756, 2009.