

論文 モルタル充てん継手を有するプレキャスト RC はりのせん断挙動に及ぼす目地の影響

小林 研太*1・大窪 一正*2・松本 智夫*3・二羽 淳一郎*4

要旨: 本研究では、モルタル充てん継手を用いて接合したプレキャスト RC はりのせん断挙動に及ぼす接合目地の影響を検討するため、せん断スパン中央の接合目地の接合方法およびせん断補強鉄筋量をパラメータとしたプレキャスト RC はりの載荷実験を行った。その結果、目地の接合方法の違いが、ひび割れ性状や一時的な荷重の低下、せん断耐力に大きく影響することがわかった。目地界面にモルタル充てんや接着材による接着等の処理を行っていない場合、処理を行った場合と比較してせん断耐力は低下するが、目地を貫通する軸方向鉄筋を配置することでせん断耐力が改善されることを示した。

キーワード: モルタル充てん継手, プレキャスト RC はり, 接合目地, せん断挙動, せん断補強鉄筋

1. はじめに

近年、生産性向上の観点からボックスカルバートなどの大型構造物へのプレキャスト RC 部材の適用が拡大しており、プレキャスト部材間の接合にモルタル充てん継手の利用が増加している。一方で、プレキャスト RC 構造物では、部材の接合目地部が力学的および耐久的な弱点となる可能性があり、接合目地に用いる材料や目地の形状、あるいはそれらの組み合わせが、構造物の耐力や変形性能に影響すると考えられる。

著者ら¹⁾は、これまでにスパン中央の接合目地の形状や材料をパラメータとして、プレキャスト RC はりの載荷実験を行ってきた。その結果、目地の違いに拘らず、一体打ちの RC はりとした場合の計算値以上の曲げ耐力を有するが、目地の開口幅には目地の違いが大きく影響することを確認してきた。一方で、せん断スパン内に接合目地を設けると、せん断破壊性状に大きく影響することが報告されている。森ら²⁾は、せん断スパン内にモルタル目地を設けた RC はりの載荷実験を行い、接合目地に沿う斜めひび割れの発生を確認し、それに伴う一時的な荷重低下が生じるおそれがあることを示した。また、玉井ら³⁾は、せん断スパン内における接合面の接着の有無をパラメータとした RC はりの載荷実験を行い、接合

面を接着しない場合、接合面から主鉄筋に沿った水平ひび割れを確認し、せん断耐力は設計式の値に達しなかったと報告している。しかし、接合目地ならびにモルタル充てん継手を有するプレキャスト RC 部材を対象とした研究は少なく、せん断挙動に及ぼす接合目地の影響は未解明な部分が多い。

本研究では、せん断スパン中央に設けた接合目地の接合方法およびせん断補強鉄筋量をパラメータとした 8 体のプレキャスト RC はりの静的 4 点曲げ載荷実験を行い、モルタル充てん継手を有するプレキャスト RC はりのせん断挙動に対して接合目地が与える影響を検討した。

表-1 供試体一覧

| 供試体名 | 接合方法 | 目粗し | せん断補強鉄筋 |
|----------|--------------------|-----|---|
| DRY | ドライ ジョイント | なし | なし |
| DRY-21 | | | D6@150mm ($r_w=0.21\%$) |
| DRY-71 | | | D10@100mm ($r_w=0.71\%$) |
| DRY-21MB | | | D6@150mm ($r_w=0.21\%$) + 中間鉄筋 (D19×2 本) |
| AD | 接着剤 | なし | なし |
| MR | モルタル目地 目地厚 20mm | あり | なし |
| MR-21 | | | D6@150mm ($r_w=0.21\%$) |
| MS | | | なし |

r_w : せん断補強鉄筋比(%)

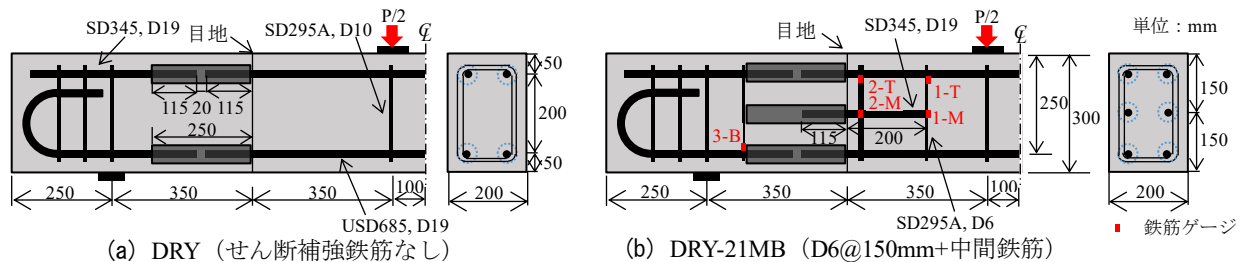


図-1 供試体概要

*1 東京工業大学 環境・社会理工学院 土木・環境工学系 土木工学コース 修士学生 (学生会員)
 *2 東京工業大学 環境・社会理工学院 土木・環境工学系 受託研究員 (正会員)
 *3 日本プライススリーブ(株) 技術本部 顧問 博(工) (フェロー会員)
 *4 東京工業大学 環境・社会理工学院 土木・環境工学系 教授 工博 (フェロー会員)

表-2 使用材料諸元

| コンクリート | 圧縮鉄筋および中間鉄筋 | | 引張鉄筋 | | | せん断補強鉄筋 | | | |
|--------|-------------|-------------------------------|-------------|--------------|-------------------------------|-------------|----------------------------------|------------|----------------------------------|
| | 呼び名, 規格 | f_y (N/mm ²) | 呼び名, 規格 | p_w (%) | f_y (N/mm ²) | 呼び名, 規格 | f_{wy} (N/mm ²) | 呼び名, 規格 | f_{wy} (N/mm ²) |
| 30 | D19, SD345 | 401 | D19, USD685 | 1.1 | 728 | D10, SD295A | 383 | D6, SD295A | 347 |

p_w : 引張鉄筋比, f_y : 主鉄筋降伏強度, f_{wy} : せん断補強鉄筋降伏強度

表-3 スリーブおよびモルタル諸元

| 材質 | スリーブ | | | | グラウト材, 目地モルタル | エポキシ樹脂系接着剤* | |
|----------|----------------|------------|--------------|--------------|--------------------------------|------------------------------|-----------------------------------|
| | スリーブ長さ (mm) | 外径 (mm) | 広口内径 (mm) | 狭口内径 (mm) | 継手管理強度 (N/mm ²) | 引張強度 (N/mm ²) | 引張せん断接着強度 (N/mm ²) |
| FCD700-2 | 250 | 48 | 36 | 25 | 100 | 17.0 | 14.0 |

*: 製品測定値

2. 実験概要

2.1 供試体概要

供試体一覧を表-1に, 供試体概要を図-1に示す。全ての供試体は, 片側のせん断スパン中央で2体のプレキャスト部材をモルタル充てん継手(以下, スリーブ)で接合したプレキャストRCはりとした。

全ての供試体は, せん断スパン比 $a/d=2.8$, はり全長 2100mm, 引張鉄筋比 1.1%, 断面幅 200mm ならびに高さ 300mm である。通常スリーブ区間に配置される2本のせん断補強鉄筋は, スリーブの両端にまとめて配置する集約配筋とした。図-1(b)に示すように, スリーブ端の左外側に1本または2本, 接合目地の中心から40mm 右側にも2本のせん断補強鉄筋を集約して配筋した。また, 接合目地にスリーブ端部が接するように, スリーブはいずれも接合目地に対して支点側に配置した。接合目地を有するせん断スパンを試験せん断スパンとし, 他方のせん断スパンにはせん断補強鉄筋 D10 を 100mm 間隔で配筋した。

全ての供試体は, 鋼製型枠を用いて作製した。DRY シリーズの4体の供試体は軸方向鉄筋をスリーブで接合したのみで, 接合目地部分にモルタルや接着剤を用いず, プレキャスト部材の端面同士を突き合わせただけの接合方法である(本供試体では, 「ドライジョイント」と称する)。ドライジョイントとした供試体におけるせん断補強鉄筋の影響を確認することを目的に, せん断補強鉄筋量をパラメータとした。DRY-21MB では, 目地部でのせん断抵抗の寄与を期待し, はり高さ中央の目地近傍に軸方向鉄筋(以下, 中間鉄筋)を2本配置した(図-1(b)参照)。中間鉄筋もスリーブによって接合し, スリーブ側はスリーブ内の埋め込み長 115mm とし, 他方を 200mm の長さとした。AD ではエポキシ樹脂系接着剤を用いて部材端面を接着させた。MR および MR-21 は, 部材のコンクリート打設時に凝結遅延剤を塗布して, 最大寸法 20mm の粗骨材を露出させる界面の目粗しをした後, 目地厚 20mm の無収縮モルタルを充てんした。MR および MR-21 は, せん断補強鉄筋比が, $r_w=0\%$ および $r_w=0.21\%$ である。MS は界面の目粗しなしで無収縮モルタルを充

てんした。

2.2 使用材料

使用材料を表-2, 表-3に示す。コンクリートの配合は, いずれの供試体も呼び強度 30N/mm² とし, 粗骨材最大寸法は 20mm, セメントには普通ポルトランドセメントを使用した。引張鉄筋には高強度鉄筋 D19 (USD685) を, 圧縮鉄筋および中間鉄筋には普通鉄筋 D19 (SD345) を, せん断補強鉄筋には普通鉄筋 D6 または D10 (SD295A) をそれぞれ用いた。スリーブのグラウト材および接合目地のモルタルには, 継手管理強度 100N/mm² の無収縮モルタルを使用し, スリーブと目地を同時に充てんした。

2.3 載荷方法と測定項目

載荷は, 油圧式 1000kN 万能試験機を用いて静的4点曲げ載荷とした。載荷点には幅 65mm の支圧板を, 支点には回転支承の上に幅 75mm の支圧板を設置した。支点の支圧板と供試体の間には, シリコングリスを2枚のテフロンシートで挟んだ減摩パッドを挿入して水平方向の摩擦を低減した。

測定項目は, 荷重, 鉛直変位, せん断補強鉄筋ひずみおよび接合目地の開口変位とした。図-1中にせん断補強鉄筋ひずみの測定箇所を示す。鉛直変位は, スパン中央, 両載荷点および目地の両側 20mm の位置の計5箇所計測した。目地の開口変位は, 目地を跨ぐように検長 100mm のパイ型変位計を供試体下面に設置し, 計測した。

3. 実験結果

3.1 耐力および破壊状況

図-2に荷重-スパン中央変位の関係を, 表-4に実験結果ならびに, せん断耐力および曲げ耐力の計算値を示す。降伏荷重の実験値は, 引張鉄筋降伏による荷重低下が最初に生じた荷重を示している。せん断耐力の計算値は, コンクリート標準示方書⁴⁾の設計せん断耐力に基づき, 修正トラス理論を用いて式(1)~(3)で算出した。なお, コンクリート分担分 V_c は二羽ら⁵⁾の式を用いた。

$$V_{u_cal} = V_{c_cal} + V_{s_cal} \quad (1)$$

$$V_{c_cal} = 0.20f_c^{1/3}p_w^{1/3}(d/1000)^{-1/4}[0.75+1.4/(a/d)]bd \quad (2)$$

$$V_{s_cal} = A_w f_{wy} z / s \quad (3)$$

表-4 載荷実験結果および計算値

| 供試体 | f_c' (MPa) | 水平ひび割れ 発生荷重 (kN) | 一時低下荷重 (kN) | せん断耐力 (kN) | | | 降伏荷重 (kN) | 曲げ耐力 (kN) | |
|----------|-----------------|---------------------|----------------|------------|-----|-------------|--------------|-----------|-----|
| | | | | 実験値 | 計算値 | 実験値/ 計算値 | | 実験値 | 計算値 |
| DRY | 49.7 | 105 | 105 | 93 | 68 | 1.36 | | 268 | |
| DRY-21 | 39.1 | 109 | 130 | 136 | 95 | 1.43 | | 262 | |
| DRY-71 | 46.1 | 120 | 178 | | 186 | | 271 | 312 | |
| DRY-21MB | 49.7 | 165 | 206 | | 118 | | 277 | 312 | |
| AD | 49.7 | なし | 171 | 98 | 68 | 1.44 | | 268 | |
| MR | 49.7 | なし | 187 | 130 | 68 | 1.91 | | 268 | |
| MR-21 | 39.1 | なし | 211 | 152 | 95 | 1.61 | 269 | 262 | |
| MS | 46.1 | 137 | 137 | 104 | 66 | 1.56 | | 266 | |

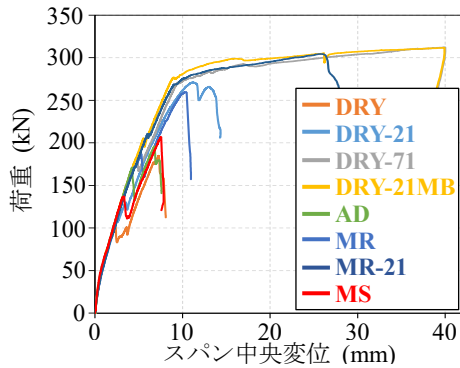


図-2 荷重-スパン中央変位関係

ここで、 f_c' : コンクリートの圧縮強度(N/mm²), p_w : 引張鉄筋比(%), d : 有効高さ(mm), a : せん断スパン(mm), b : ウェブ幅(mm), A_w : せん断補強鉄筋の1組の総断面積(mm²), f_{wy} : せん断補強鉄筋の降伏強度(N/mm²), z : 圧縮合力と引張合力の距離(= $d/1.15$)(mm), s : せん断補強鉄筋の配置間隔(mm)

曲げ耐力は、コンクリート示方書⁴⁾に基づき計算した。なお計算では、一体打ちのRCはりのみとし、接合目地、集約配筋およびスリーブの影響は考慮せず算出した。DRY-71, DRY-21MBは後述するとおり、実験から明確な曲げ耐力が得られなかったため、曲げ耐力の実験値として、載荷を終了したスパン中央変位40mmにおける荷重を採用した。

ドライジョイントとした供試体およびMSでは、接合面から軸方向鉄筋に沿ったひび割れ(以下、水平ひび割れ)が示された。いずれの供試体も水平ひび割れまたは斜めひび割れの発生によって、一時的に荷重が低下した(低下直前の荷重を以下、「一時低下荷重」と称する)。その後、荷重が再度上昇し、供試体DRY, DRY-21, AD, MRおよびMSは、斜めひび割れが上縁および支点付近に到達し、せん断破壊した。供試体DRY-71およびDRY-21MBは、引張鉄筋の降伏後、等曲げ区間の圧縮域のコンクリートが圧壊したが、荷重の低下が生じずに漸増した。載荷装置の制約上、スパン中央の変位が40mmに達した段階で載荷を終了した。供試体MR-21は、引張鉄筋の降伏後に斜めひび割れが上縁に到達し、せん断破壊し

た。本研究で対象とした全ての供試体は、せん断耐力の計算値よりも小さな荷重で曲げ破壊したDRY-71を除き、目地の種類およびせん断補強鉄筋量に拘らず、一体打ちのRCはりのみとした計算値を超えるせん断耐力を有していることが示された。

本研究では、曲げ破壊したDRY-71, DRY-21MBを除き、せん断耐力は計算値の約1.4~1.9倍と大きな値となり、目地界面のせん断抵抗への貢献が少ないと考えられるDRYの供試体においても計算値の約1.4倍となった。また、せん断補強鉄筋のない供試体においても、斜めひび割れ発生後に荷重が増大した。本研究で用いた供試体は、圧縮側および引張側に軸方向鉄筋よりも太径(外径48mm)のスリーブが存在している。そのため、ダウエル作用が大きく、またせん断スパンに占めるスリーブ長も大きいことにより変形性能が向上したことで斜めひび割れ発生後も荷重が上昇したと考えられる。

3.2 一時低下荷重およびせん断耐力

(1) 目地の影響

目地の種類の異なる供試体の荷重-スパン中央変位の関係を、せん断補強鉄筋の有無に分けて図-3(a)および(b)に示す。せん断補強鉄筋のない供試体において、モルタル目地で界面に目粗しを施したMRはDRYの約1.4倍のせん断耐力を有していた。DRYは目地部における骨材のかみ合わせ抵抗が無く、主に軸方向鉄筋によるダウエル作用がせん断力に抵抗している。一方で、MRは目地界面を目粗ししているために、目地部において骨材のかみ合わせ抵抗が発揮され、せん断耐力に差が生じたと考えられる。また、MSは界面を目粗ししていないために骨材のかみ合わせ抵抗が発揮されず、目地部は主として母材コンクリートとモルタルとの付着力とダウエル作用で抵抗していると考えられる。ADにおいても骨材のかみ合わせ抵抗は無いものの、エポキシ樹脂系接着剤はコンクリートとの付着力がコンクリートとモルタルのそれよりも大きいため、MSよりも一時低下荷重が大きかったと考えられる。このようにせん断スパン中央の接合目地の状況が一時低下荷重およびせん断耐力に大きく影響することが示された。

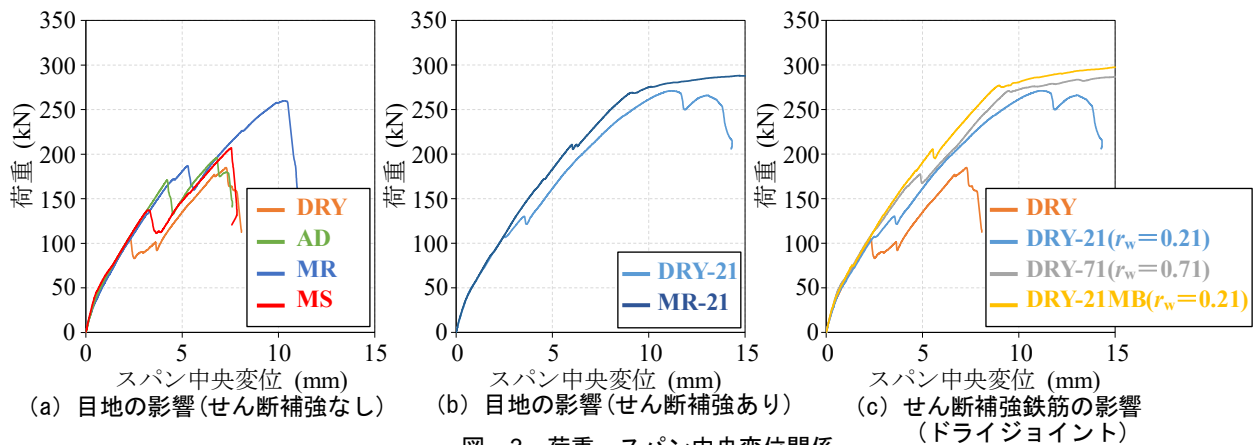


図-3 荷重-スパン中央変位関係

前述したとおり、DRY および MS は水平ひび割れの発生によって一時的な荷重低下が生じた。これらの供試体は目地部における骨材のかみ合わせ抵抗がないため、軸方向鉄筋のダウエル作用の負担分が特に大きくなる。そのため軸方向鉄筋の周りのコンクリートにも大きな力が作用し、水平ひび割れが発生したと考えられる。

せん断補強鉄筋を有する供試体である DRY-21 と MR-21 を比較したときも同様に、目地界面におけるかみ合わせ抵抗の大きい MR-21 が、DRY-21 より大きな一時低下荷重を示した。また、MR-21 は斜めひび割れの発生による荷重の低下量が、他の供試体に比べて小さかった。

(2) せん断補強鉄筋の影響

ドライジョイントの供試体におけるせん断補強鉄筋の影響を検討するために、せん断補強鉄筋量の異なる供試体 4 体の荷重-スパン中央変位関係を図-3(c)に示す。いずれの供試体にも水平ひび割れが発生したが、水平ひび割れの発生によって一時的に荷重が低下したのはせん断補強鉄筋のない DRY のみであった。せん断補強鉄筋のある供試体は、斜めひび割れ発生時に一時的な荷重低下が生じた。せん断補強鉄筋量の増大に伴って、一時低下荷重およびせん断耐力が大きくなり、一時的な荷重の低下量も小さくなった。一方で、DRY、DRY-21 および DRY-71 では、水平ひび割れの発生荷重はほとんど変わらなかった。せん断補強鉄筋は、交差するひび割れが発生した後にせん断抵抗に寄与するため、せん断補強鉄筋量を増やしても水平ひび割れの発生荷重は変わらなかったと考えられる。DRY-21、DRY-21MB における荷重-せん断補強鉄筋ひずみの関係を図-4 に示す。図-4 の 1-M は、曲げひび割れの影響で水平ひび割れ発生前から徐々にせん断補強鉄筋のひずみが増加していた。それ以外は、水平ひび割れ発生後にせん断補強鉄筋ひずみが増加した。

中間鉄筋を配置した DRY-21MB は、中間鉄筋がなくせん断補強鉄筋量の等しい DRY-21 と比較して、一時低下荷重およびせん断耐力が大きくなった。また、水平ひび

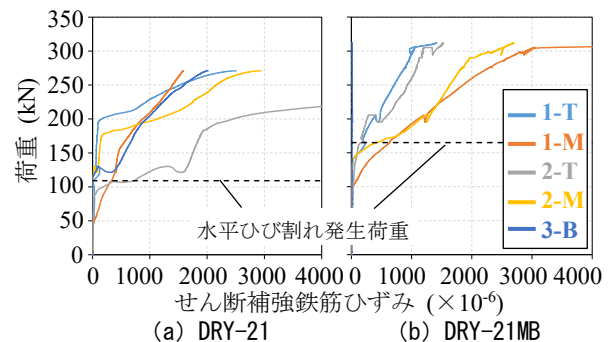


図-4 荷重-せん断補強鉄筋関係

割れの発生荷重も大きくなり、中間鉄筋はせん断抵抗に寄与していることが示された。さらに、よりせん断補強鉄筋量大きい DRY-71 と比較しても、一時低下荷重および水平ひび割れの発生荷重が大きくなり、せん断補強鉄筋よりも中間鉄筋がより大きくせん断抵抗に寄与する結果となった。また、表-4 に示したせん断耐力の計算値は引張鉄筋比 p_w に中間鉄筋の断面積も単純に加算した値であるが、実験結果より、せん断耐力は計算値を上回ることが示された。ドライジョイントの供試体の場合、目地部での骨材のかみ合わせ抵抗がないため、軸方向鉄筋によるダウエル作用の負担分が大きくなる。中間鉄筋を目地部に配置することで、目地部における軸方向鉄筋に作用するせん断力が分散され、一本あたりの負担分を軽減することができる。一方で、せん断補強鉄筋は水平ひび割れの幅を抑制できるが、目地部のせん断抵抗に貢献することはできないために、結果として中間鉄筋がせん断補強鉄筋よりもせん断抵抗に大きく寄与したことが考えられる。また、DRY-21MB は、MR-21 と比較しても、せん断耐力はより大きく、ドライジョイントとすることで低下していたせん断抵抗力を、中間鉄筋を配置することで向上させることが可能であることを示した。

以上のように、せん断補強鉄筋の貢献を確認し、ドライジョイントの供試体では、目地部に中間鉄筋を配置することで目地部における軸方向鉄筋に作用するせん断力が分散され、せん断抵抗力が向上することが示された。

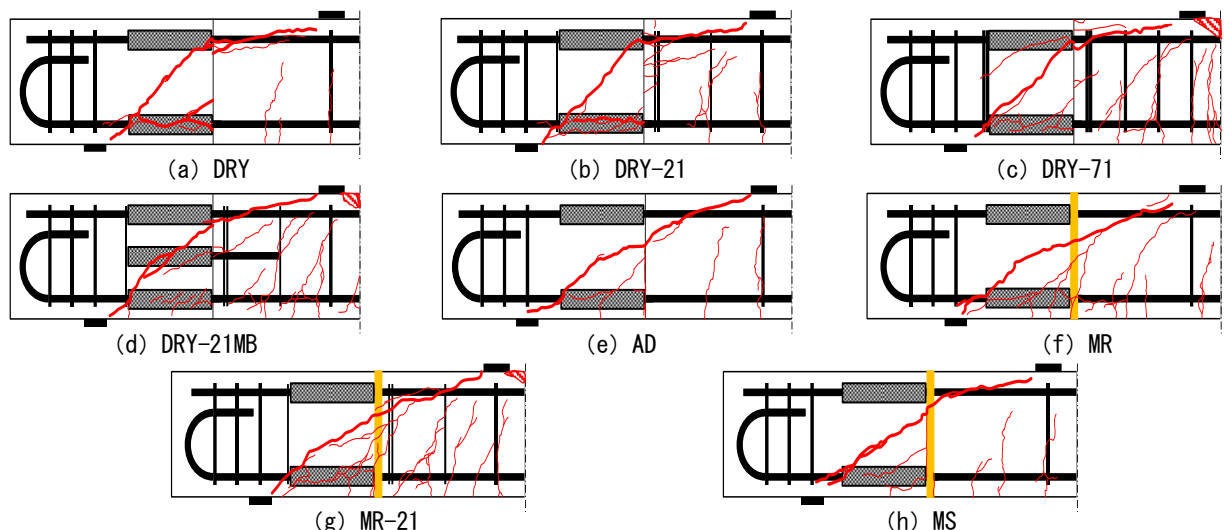


図-5 最大荷重直後のひび割れ性状（太線は顕著な斜めひび割れ，斜線部は曲げ圧壊部）

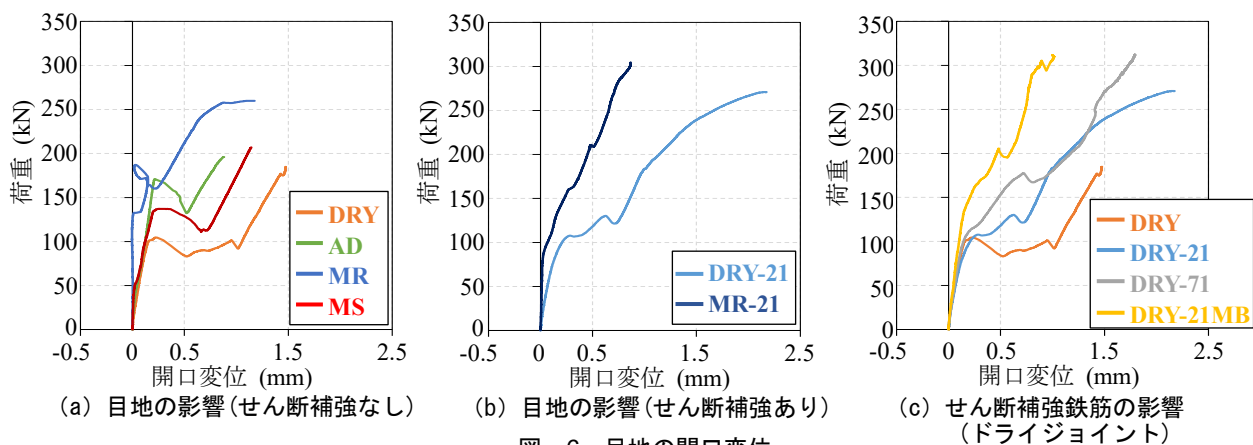


図-6 目地の開口変位

3.3 ひび割れ性状

図-5 に試験せん断スパンの最大荷重直後のひび割れ図を示し，顕著なひび割れについては太線で示す。ドライジョイントの全ての供試体で圧縮鉄筋および引張鉄筋に沿う水平ひび割れが発生し，圧縮鉄筋に沿う水平ひび割れに繋がる形でスリーブ区間に角度の大きい斜めひび割れが発生した。せん断補強鉄筋のない DRY は水平ひび割れ幅が最も大きくなり，せん断補強鉄筋量の増加に伴って水平ひび割れ幅は小さくなると共に，ひび割れの本数が増加拡散した。中間鉄筋を有する DRY-21MB は最初に引張鉄筋に沿う水平ひび割れ，および中間鉄筋が存在する位置の目地界面を起点として載荷点に向かって斜めひび割れが発生した。その後，圧縮鉄筋に沿う水平ひび割れ発生時に，一時的な荷重低下が生じた。また，DRY-21MB 以外のドライジョイントの供試体では，目地の左右で上下にずれるせん断ずれが生じた。一方で，DRY-21MB においては同様のせん断ずれは生じず，中間鉄筋がせん断ずれに抵抗したと考えられる。ひび割れ性状からも中間鉄筋がダウエル作用を発揮してせん断抵抗に寄与していたことがわかる。

MS においても引張鉄筋に沿う水平ひび割れは生じたものの，そのひび割れ幅は小さいものとなった。MS および AD では目地界面に沿うひび割れが発生した。一方で，モルタル目粗しありの供試体 MR および MR-21 は目地界面下端からひび割れは発生したものの，目地界面に沿った進展は見られなかった。MR および MR-21 は，ひび割れの本数も多く分散しており，目地のない一体打ちのほりに近いひび割れ性状となった。

以上のように，目粗したモルタル目地で接合した場合，ひび割れは分散され，接合部のない一体打ちのほりに近いひび割れ性状となったのに対し，ドライジョイントで接合した場合，軸方向鉄筋のダウエル作用の負担分が増加することによる水平ひび割れが発生し，ひび割れ幅も大きくなった。また，中間鉄筋を設けることにより，目地界面におけるせん断ずれや水平ひび割れの拡幅が抑制されることが示された。

3.4 目地の開口変位および鉛直変位分布

図-6 に荷重と供試体下面での目地の開口変位の関係を示す。水平ひび割れおよび斜めひび割れの発生とともに目地の開口も大きくなっていったことがわかる。目粗し

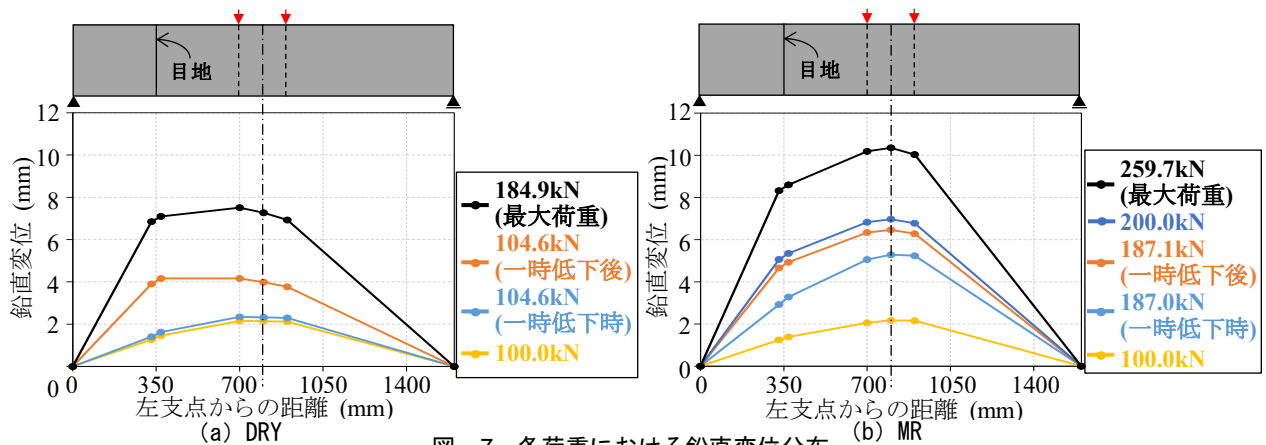


図-7 各荷重における鉛直変位分布

したモルタル目地の MR および MR-21 は、斜めひび割れ発生まで目地はほぼ開口しておらず、開口が抑制されていた。最終的な目地の開口変位は DRY が最も大きくなったが、斜めひび割れ発生までの開口変位は DRY, AD および MS でほぼ同等であった。また、せん断補強鉄筋を有する供試体の方が目地の開口変位が小さく、中間鉄筋を有する DRY-21MB で最も小さくなった。せん断補強鉄筋および中間鉄筋による水平ひび割れ幅および斜めひび割れ幅の拡幅の抑制が、目地の開口変位の抑制にも寄与していることが示された。

図-7 に DRY および MR の各荷重レベルにおける左支点からの距離と鉛直変位の関係を示す。DRY では、荷重の一時低下以降、接合目地近傍の変位と中央変位の値がほぼ同等の値となった。ドライジョイントでは、斜めひび割れ発生後、接合目地を起点として大きくたわみ、破壊に至っていることが示された。一方で、目粗しを行っている MR は、斜めひび割れによる荷重の一時低下による接合目地の変位の増加分は小さく、スパン中央の変位が接合目地の変位に比べて大きくなった。

4. まとめ

本研究では、せん断スパン中央における接合目地の接合方法ならびにせん断補強鉄筋量の異なる 8 体のプレキャスト RC はりを対象に載荷実験を実施した。本研究で得られた知見を以下に示す。

- (1) 曲げ破壊した DRY-71, DRY-21MB を除き、モルタル充てん継手を有するプレキャスト RC はりは、目地の種類に拘らず、一体打ちの RC はりとした計算値の約 1.4~1.9 倍のせん断耐力を有していた。いずれの供試体も軸方向鉄筋に沿う水平ひび割れまたは斜めひび割れの発生によって、一時的に荷重が低下し、その後荷重が再び上昇した。
- (2) モルタル目地で界面に目粗しを施した供試体は、目地界面の骨材のかみ合わせ抵抗力が発揮されたため、目地界面のせん断抵抗の貢献がないドライジョ

イントの供試体の約 1.4 倍のせん断耐力を有していた。このように、接合目地の処理方法が一時低下荷重およびせん断耐力に大きく影響することが示された。

- (3) ドライジョイントの供試体は、目地部のせん断抵抗が主に軸方向鉄筋のダウエル作用であるため、軸方向鉄筋の周りのコンクリートに大きな力が作用し、接合面から軸方向鉄筋に沿う水平ひび割れが発生したと考えられる。中間鉄筋を目地部に配置することにより、目地部における軸方向鉄筋に作用するせん断力が分散され、結果としてせん断抵抗力も大きく向上した。

謝辞

本研究の供試体作製では、昭和コンクリート工業株式会社に多大なご協力をいただきました。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 小林研太, 大窪一正, 松本智夫, 二羽淳一郎: モルタル充てん継手を有するプレキャスト RC はりの曲げ破壊挙動に及ぼす目地の影響, コンクリート工学年次論文集, Vol.41, No.2, pp.559-564, 2019
- 2) 森敬倫, 中村拓郎, 松本智夫, 二羽淳一郎: 接合目地とモルタル充てん継手を有する RC はりのせん断性状, コンクリート工学年次論文集, Vol.39, No.2, pp.469-474, 2017
- 3) 玉井真一, 増田芳久: せん断補強鉄筋を有しないプレキャストブロック RC はりのせん断強度, コンクリート工学年次論文集, Vol.18, No.2, pp.1217-1222, 1996
- 4) 土木学会: コンクリート標準示方書[設計編], 2017
- 5) 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, No.372/V-5, pp.167-176, 1986