

石灰石骨材を用いた RC 部材の力学的特性に及ぼす微粒分の影響

鳥取大学大学院 学生会員 ○箱崎 恵介
鳥取大学大学院 正会員 黒田 保

鳥取大学大学院 フェロー会員 井上 正一
村本建設(株) 正会員 高井 伸一郎

1. はじめに

石灰石微粒分は混和材として広く使用されており、石灰石骨材においても微粒分量が多量になっても悪影響を及ぼさないことも考えられる。そこで、石灰石微粒分量を 5%および 16%含んだ石灰石碎石を用いたコンクリート(L5 および L16 と表記)から RC はりを作製し、一方向および正負交番荷重下における、耐力、変形・ひび割れ性状、そして付着性状を検討した。

2. 実験概要

表-1に示す、粗骨材に山口県産の石灰石を用いたコンクリートと普通碎石を用いたコンクリート(Nと表記)で表-2に示す RC はりを作製した。コンクリートの 28 日目標強度は 30N/mm²、スランプ 5±1cm、空気量 5±1.0%で、その示方配合を表-3に示す。RC はりに選んだ実験要因は、コンクリートの種類、主鉄筋量で、荷重は一方向および正負交番荷重ともスパン 150cm の 3 等分点荷重で行った(図-1 参照)。正負交番荷重試験における設定繰返し変位水準は、主鉄筋降伏時のスパン中央たわみ δ_yを基準に、その整数倍±kδ_y(k=1,2,...)で選び、各設定繰返し変位水準での繰返し回数は 3 回として、順次 k の値を大きくし行き、終局変位に達するまで行った。

付着強度試験には、28 日目標強度 30N/mm²、スランプ 10±2cm、空気量 4.5±1.5 %のコンクリートを用い引抜き試験による鉄筋とコンクリートの付着強度試験方法(JSCE-G503-1999)に準じて行った。

3. 実験結果および考察

3.1. 破壊様式

本研究で選定した主鉄筋量の範囲においては主鉄筋量やコンクリートの種類、微粒分量の違いによらず大変形をした後に、すべての RC はりは曲げ引張破壊をした。なお、複鉄筋はりは、荷重方法によらず圧縮鉄筋の座屈を伴って破壊したことが特徴として挙げられる。

3.2. 耐力

表-4に示した終局曲げ耐力の計算値は、安全係数を 1 とし、土木学会標準示方書に基づいて算定したものである。表-4より、曲げ耐力比は、主鉄筋量が同一の RC はりにおいて、ほぼ同等の値を示し、微粒分量の多少や石灰石の使用は、曲げ耐力に影響を及ぼさないといえる。

3.3. 荷重～スパン中央たわみ(P-δ)関係

図-2 に示すように、コンクリートの種類や単・複鉄筋に関係なく、P-δ 関係

表-1 骨材の物理的性質

| 骨材 | 種類 | 物性値 | | | | | |
|-----|-------|---------------------------|---------|------|---------|------------|----------|
| | | 表乾密度 (g/cm ³) | 吸水率 (%) | F.M. | 実積率 (%) | 40t破砕値 (%) | 微粒分量 (%) |
| 細骨材 | 普通砂 | 2.67 | 1.29 | 2.74 | 66.3 | - | 3.7 |
| 粗骨材 | 普通碎石 | 2.75 | 0.61 | 6.79 | 58.8 | 9.7 | - |
| | 石灰石碎石 | 2.68 | 0.55 | 6.41 | 58.4 | 22.3 | 2.6 |

表-2 供試体の種類と試験時のコンクリート強度

| 試験方法 | コンクリートの種類 | はりの名称 | 主鉄筋 | | 試験時のコンクリート強度 | | | せん断補強鉄筋 | | | |
|------|-----------|------------|-----------------------|----------------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|------|----|-----|
| | | | As (mm ²) | f _y | 圧縮 | 引張 | 弾性係数 | 種類 | s | | |
| | | | (mm ²) | (N/mm ²) | (N/mm ²) | (kN/mm ²) | (kN/mm ²) | Aw (mm ²) | (mm) | | |
| 一方向 | L5 | S-2D13-L5 | 253 | 367 | 40.4 | 3.34 | 32.3 | φ6 | 110 | | |
| | | S-3D10-L5 | 214 | 405 | | | | | | | |
| | | D-2D13-L5 | 253 | 367 | | | | | | | |
| | L16 | D-3D10-L5 | 214 | 405 | 40.1 | 2.98 | 31.1 | φ6 | 110 | | |
| | | S-2D13-L16 | 253 | 367 | | | | | | | |
| | | S-3D10-L16 | 214 | 405 | | | | | | | |
| | | D-2D13-L16 | 253 | 367 | | | | | | | |
| | | D-3D10-L16 | 214 | 405 | | | | | | | |
| | | D-3D10-L16 | 214 | 405 | | | | | | | |
| N | S-2D13-N | 253 | 367 | 41.1 | 3.42 | 33.5 | φ6 | 110 | | | |
| | S-3D10-N | 214 | 405 | | | | | | | | |
| | D-2D13-N | 253 | 367 | | | | | | | | |
| 正負交番 | L5 | D-2D13-L5 | 253 | 367 | 38.7 | 3.2 | 30.1 | φ6 | 110 | | |
| | | D-3D10-L5 | 214 | 405 | | | | | | | |
| | | D-2D13-L5 | 253 | 367 | | | | | | | |
| | L16 | D-2D13-L16 | 253 | 367 | 38.6 | 2.82 | 31.5 | | | φ6 | 110 |
| | | D-3D10-L16 | 214 | 405 | | | | | | | |
| | | D-3D10-L16 | 214 | 405 | | | | | | | |
| N | D-2D13-N | 253 | 367 | 39.9 | 32.5 | 30.9 | φ6 | 110 | | | |
| | D-3D10-N | 214 | 405 | | | | | | | | |
| | D-3D10-N | 214 | 405 | | | | | | | | |
| 付着 | L5 | 鉄筋の種類 D16 | 198.6 | - | 29.9 | 2.46 | 30.2 | - | - | | |
| | L16 | | | | 30.1 | 2.57 | 28.4 | | | | |
| | N | | | | 28.6 | 2.44 | 29.5 | | | | |

表-3 示方配合

| 試験名 | コンクリートの種類 | W/C (%) | s/a (%) | 単位量 (kg/m ³) | | | | | AE減水剤 (ml) | AE助剤 (ml) |
|------|-----------|---------|---------|--------------------------|-----|-----|------|---------|------------|-----------|
| | | | | W | C | S | G | | | |
| 一方向 | N | 60 | 45 | 148 | 247 | 920 | 1151 | C×0.25% | C×1.6% | |
| | L5 | | | 39 | 141 | 135 | 767 | | 1204 (30) | C×1.6% |
| | L16 | | | 27 | 158 | 263 | 506 | | 1389 (191) | C×5.0% |
| 正負交番 | N | | | 45 | 158 | 263 | 853 | | 1070 | C×1.2% |
| | L5 | | | 39 | 150 | 250 | 753 | | 1182 (29) | C×1.6% |
| | L16 | | | 27 | 172 | 287 | 497 | | 1348 (185) | C×4.5% |

※()は石灰石微粒分量を示す。

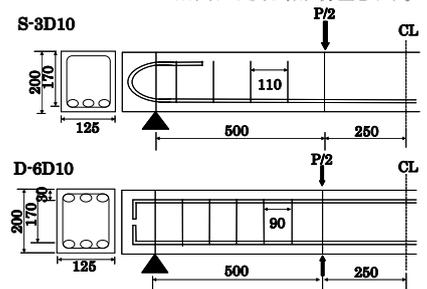


図-1 はりの断面図の詳細

表-4 RC はりの耐力

| はりの種類 | 一方向 | | | 正負交番 | | | |
|------------|---------------|-------|------|-------------|-------|-------|------|
| | 終局曲げ耐力 (kN・m) | | | 最大耐力 (kN・m) | | | |
| | 実験値 | 計算値 | 耐力比 | 実験値 | 計算値 | 耐力比 | |
| S-2D13-N | 15.60 | 14.77 | 1.06 | D-3D10-N | 13.85 | 13.9 | 1 |
| S-2D13-L5 | 15.25 | 14.74 | 1.03 | | | | |
| S-2D13-L16 | 15.97 | 14.73 | 1.08 | D-3D10-L5 | 13.36 | 13.88 | 0.96 |
| S-3D10-N | 14.50 | 13.84 | 1.05 | | | | |
| S-3D10-L5 | 14.70 | 13.83 | 1.06 | D-3D10-L16 | 13.26 | 13.88 | 0.96 |
| S-3D10-L16 | 14.90 | 13.83 | 1.08 | | | | |
| D-4D13-N | 15.98 | 14.80 | 1.08 | D-2D13-N | 14.74 | 14.79 | 1 |
| D-4D13-L5 | 16.23 | 14.77 | 1.10 | | | | |
| D-4D13-L16 | 16.40 | 14.76 | 1.11 | D-2D13-L5 | 14.29 | 14.76 | 0.97 |
| D-6D10-N | 15.20 | 13.90 | 1.09 | | | | |
| D-6D10-L5 | 15.28 | 13.89 | 1.10 | D-2D13-L16 | 14.34 | 14.76 | 0.97 |
| D-6D10-L16 | 15.28 | 13.87 | 1.10 | | | | |

は主鉄筋が降伏するまではほぼ直線形状を示し、主鉄筋降伏後は、荷重の増加はわずかで δ のみが増大し、その後荷重が低下して破壊に至る、特に複鉄筋はりにおいては、きわめてじん性に富んだ挙動を示して破壊に至っている。このような挙動は主鉄筋量が異なっても同一で、正負交番荷重下の P- δ 関係を示した図-3 においても、主鉄筋量が同一ならば、コンクリートの種類、微粒分量に関係なく、履歴ループはほとんど同一の形状を通して破壊に至っていることが分かる。

3.4. 荷重～変位履歴関係

図-4 に、正負交番荷重下および一方向荷重下における P- δ 関係を示す。正負交番荷重下における終局変位は一方向荷重のそれよりも小さく 1/4 程度になっていることが分かる。ただし、石灰石の使用や微粒分量の多少は終局変位に影響を及ぼしていないことも分かる。

3.5. ひび割れ性状

図-5 は、正負交番、正方向荷重における最大ひび割れ幅の推移を示したものである。いずれの RC はりにおいても、最大曲げひび割れ幅の増加量が減少し始める変位水準と斜めひび割れ幅が急増する変位水準がほぼ一致しており、このことは曲げ損傷が進行していたはりにおいて、せん断損傷が加わって破壊が進行している状態を示している。なお、最大ひび割れ間隔は、表-5 より鉄筋間隔の小さいものは小さくなっているが、一方向と正負交番荷重、石灰石の使用や微粒分量は、最大ひび割れ間隔に影響を及ぼしていないことが分かる。

3.6. コンクリートと鉄筋の付着性状

図-6 に付着応力度～すべり量関係を示す。図よりコンクリートの種類によらず、すべり量、初期付着応力度(鉄筋径の 0.2%のすべり量における付着応力度)、最大付着応力度は同等であり、粗骨材の種類や微粒分の違いが鉄筋とコンクリート間の付着に及ぼす影響はないと言える。

4. まとめ

石灰石微粒分量をかなり多量に含む石灰石砕石を用いた RC はりの荷重試験の結果、今回設定した微粒分の範囲内であれば、石灰石の使用や石灰石微粒分が RC はりの強度、変形性状、ひび割れ性状、付着性状に及ぼす悪影響はないことが明らかになった。普通コンクリートのそれらと同程度であった。今後は、実際の構造物に作用する繰り返し荷重を想定した実験を行うこと、RC 部材での付着性状を確認し、ひびわれと付着の関連性を明確にすることが重要だと考える。

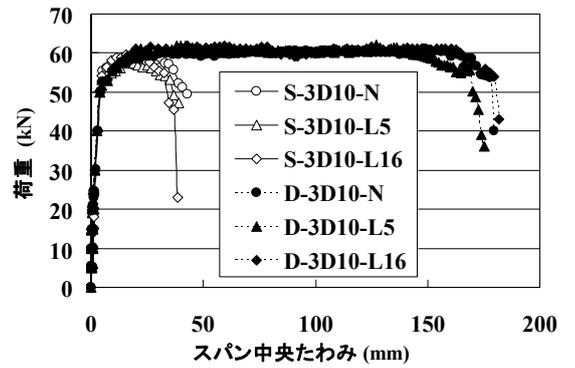


図-2 荷重～スパン中央たわみ関係（一方向）

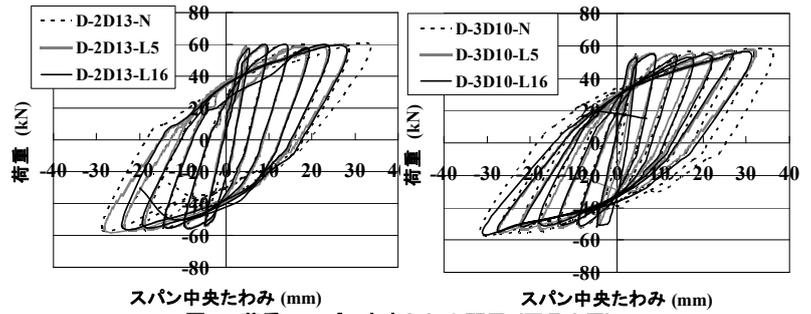


図-3 荷重～スパン中央たわみ関係（正負交番）

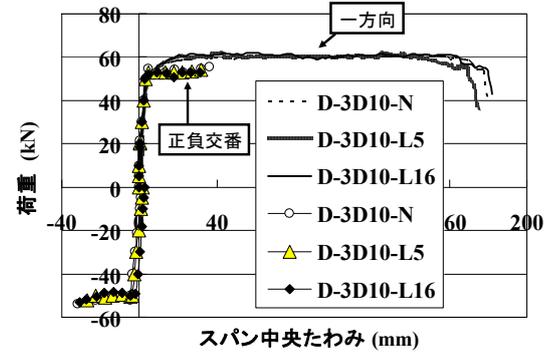


図-4 荷重～変位履歴関係

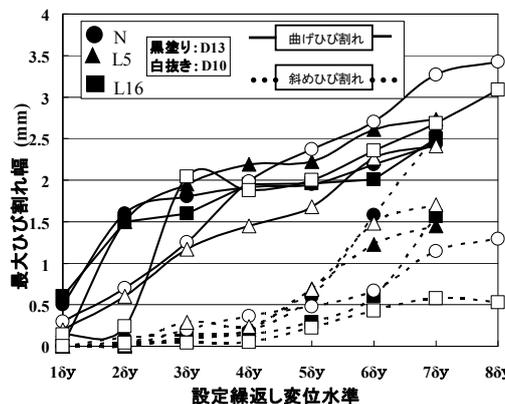


図-5 ひび割れ幅の推移図

表-5 曲げひび割れ発生間隔

| 試験方法 | はりの種類 | 最大ひび割れ間隔 | |
|------|------------|----------|----------|
| | | 実験値(cm) | 計算値 (cm) |
| 一方向 | D-2D13-N | 12.3 | 13 |
| | D-2D13-L5 | 13.3 | |
| | D-2D13-L16 | 11.5 | |
| | D-3D10-N | 11.5 | 11.6 |
| | D-3D10-L5 | 11.7 | |
| | D-3D10-L16 | 10.4 | |
| 正負交番 | D-2D13-N | 13.5 | 13 |
| | D-2D13-L5 | 13.1 | |
| | D-2D13-L16 | 12.3 | |
| | D-3D10-N | 11.9 | 11.6 |
| | D-3D10-L5 | 11.1 | |
| | D-3D10-L16 | 9.9 | |

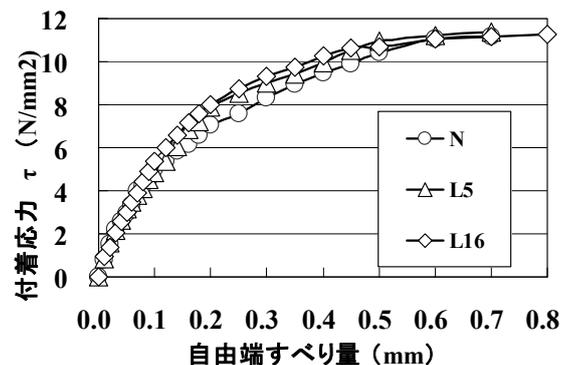


図-6 付着応力～自由端すべり関係