

RC および SRC 大型壁式橋脚模型の水平単調載荷実験

Push Over Test of Large Scale RC and SRC Walltype Bridge Pier

北海道開発土木研究所	正 員	池田 憲二 (Kenji Ikeda)
北海道開発土木研究所	〇正 員	皆川 昌樹 (Masaki Minakawa)
北海道開発土木研究所	正 員	佐藤 京 (Takashi Satoh)
三井建設 (株)	フェロー	三上 浩 (Hiroshi Mikami)
室蘭工業大学	正 員	岸 徳光 (Norimitsu Kishi)

1. はじめに

近年、社会資本整備にコスト削減の命題が一層強く課せられ、一方で、技術労働者不足や高齢化の中で省力化施工や工期短縮もあわせて望まれている。また、兵庫県南部地震以後、橋脚などの重要構造物の大規模地震に対する耐震性の向上が強く求められている。

外面リブ付き鋼管・コンクリート合成構造 (以下、SRC) 橋脚は、高さ 30 m 程度以下の低・中橋脚の工費縮減に資する構造として提案されたもので、断面内に外面リブ付き鋼管を補強材として複数本配置するところに特徴がある。著者らは既に断面寸法比 (短辺:長辺) が 1:2.5 程度以下の陸上部用 SRC 橋脚模型の耐荷性状を検討し^{1),2)}、本構造が鉄筋コンクリート構造 (RC) 橋脚と同等程度以上の耐力を有し、かつ数段優れた靱性能を有することを確認してきた。一方、本構造を河川橋脚のように断面寸法比が 1:2.5 程度以上の壁式橋脚に適用する場合、鋼管のせん断力負担性状や断面長手方向の応力分担性状、帯鉄筋や中間帯鉄筋の効果など、明らかにしなければならない課題も多い。また、試験体の寸法が耐荷性状に与える影響 (寸法効果) についても未解明である。そこで、本研究では断面寸法比が 1:3 以上で長辺が 2.5 m の大型壁式橋脚模型を RC および SRC 構造で製作し、水平単調載荷試験によって耐荷性状を比較、検討した。

2. 実験概要

2.1. 試験体の概要

図-1 に試験体の概要と計測位置図を示す。本実験に

用いた試験体は RC 橋脚模型と $\phi 500$ 、板厚 5 mm の外リブ付き鋼管を一例に 3 本配置した SRC 橋脚模型の 2 体である。試験体の断面寸法は長辺長 2,500 mm、短辺長 800 mm で扁平比は 1:3.125 であり、橋脚高さは 3,500 mm である。両試験体ともに軸鉄筋には D19、帯鉄筋と中間帯鉄筋には D13 または D10 を用いている。なお、外面リブ付き鋼管内には、柱基部より上方に 1D (短辺幅:800 mm) および柱頭部 1D にコンクリートを充填している。両試験体の配筋計画等は道路橋示方書に準拠し、材料の規格値を用いて断面分割法によって両者の耐力が同程度になるように行ったが、鋼管が規格値を大幅に上回る力学的特性を有したため、実験での耐力は SRC 試験体の方がかなり大きくなっている。表-1 に使用した鋼材の力学的特性を示す。使用したコンクリートは圧縮強度 31.0 MPa、弾性係数 19.9 GPa、ポアソン比 0.22 である。なお、外面リブ付き鋼管のリブ間隔は 40 mm のスパイラル状を呈し、高さは 2.5 mm、リブ天端幅は 4.0 mm である。

2.2. 載荷方法の概要

図-2 に実験装置の概略図を示す。実験は、実橋と同様に橋脚への上部工の曲げ剛性による拘束効果を考慮するため、全長 32 m の実規模二径間連続桁橋模型の中間橋脚位置に各試験体を設置して実施した。上部工は支間 30 m、総重量約 1010 kN の鋼製桁で試験体とピン接合されており、ピンの部分に油圧ジャッキを設置して単調載荷を行った。従って支点部の回転は拘束されず、上部

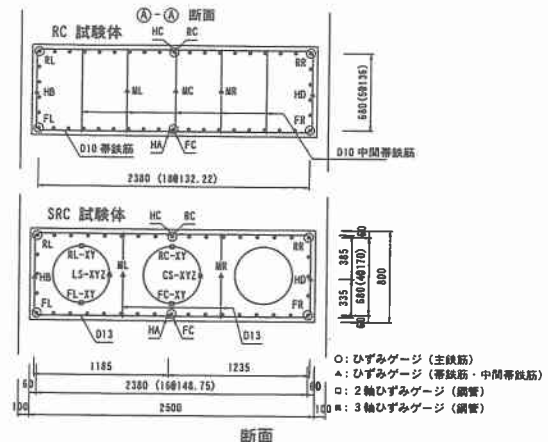
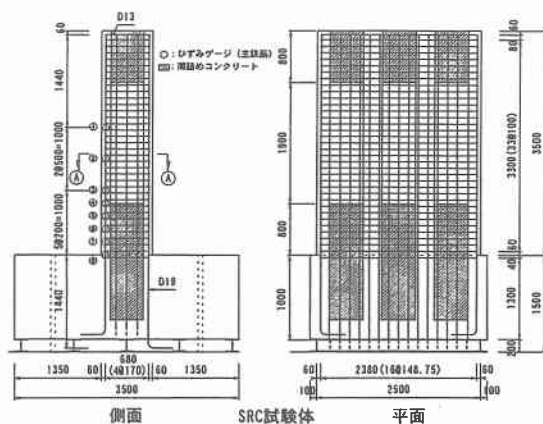


図-1 試験体の概要と計測位置図

表－１ 鋼材の力学的特性

鋼材種		降伏強度 (MPa)	引張強度 (MPa)
鋼管 SKK490		478.0	627.0
鉄筋 SD295	D10	375.1	588.7
	D13	377.2	559.5
鉄筋 SD345	D19	383.9	596.3

工と試験体間には軸力のみが伝達される構造となっている。なお、試験体天端からピン中心までの高さは300mmであり、載荷点のフーチング天端からの高さは3,800mmである。

本実験では上部工による死荷重が試験体に約 980 kN (0.49N/mm^2) 作用する様に、試験体直上部の鋼桁上に鋼板を設置している。載荷荷重はロードセルによって計測し、水平変位はワイヤ式変位計にて測定している。なお、油圧ジャッキのストロークは押し側 (RC 試験体の載荷方向) で 45 cm 程度、引き側 (SRC 試験体の載荷方向) で 40 cm 程度であり、試験体が破壊するかまたは油圧ジャッキのストロークの限界まで載荷している。

3. 実験結果および考察

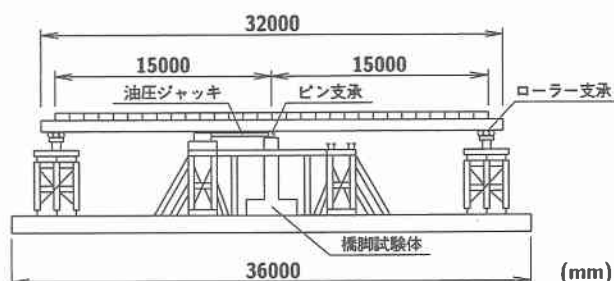
3.1. 荷重－変位関係

図－３に両試験体の荷重－変位関係の実測値と断面分割法によって求めた計算値を比較して示す。また、表－２に実験結果と計算結果を取りまとめた。図および表より、RC 試験体では端部軸鉄筋が 821 kN で初降伏した後、試験体全体としては 1,100 kN 程度で大きく変位が進行し始めたことが分かる。その後、若干の荷重増加を伴って変位は増大して最大荷重時 (1,373.9kN) において軸鉄筋が破断し始め、その後破断鉄筋が増加して荷重が低下し、最大変位 442 mm 程度で荷重が急減したため破壊とみなして載荷を終了した。なお、全降伏時耐力および最大耐力の計算値は実測値を 10～20% 程度下回っており、安全側に見積もっていることが分かる。

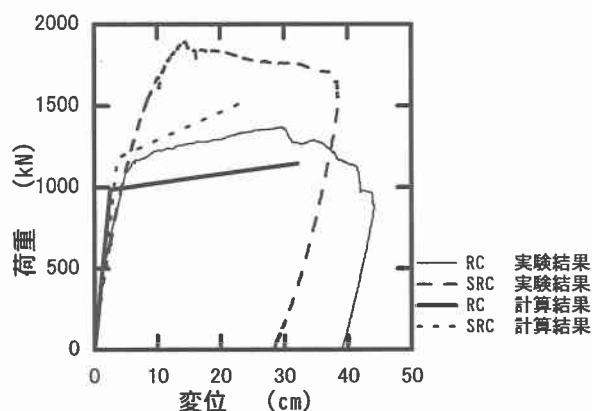
SRC 試験体では、660 kN 程度で端部の軸鉄筋が初降伏したものの RC 試験体の初期剛性とほぼ同等の剛性を保持して明瞭に変位が増大することなく一気に最大荷重 1900 kN 程度にまで達している。その後、圧縮側基部のかぶりコンクリートが徐々に剝離して荷重が緩やかに低下したもののジャッキストロークの限界に至っても軸鉄筋や鋼管に破断や座屈等の兆候が見られず載荷を終了している。なお、SRC 試験体の最大耐力は計算耐力を 25 % 程度上回っている。また、実測の全降伏時変位および最大変位は RC, SRC 試験体ともに計算結果を大幅に上回っているが、これは基部からの抜け出しを計算で考慮していないためと考えられる。

3.2. 変位分布および軸鉄筋と鋼管の歪分布

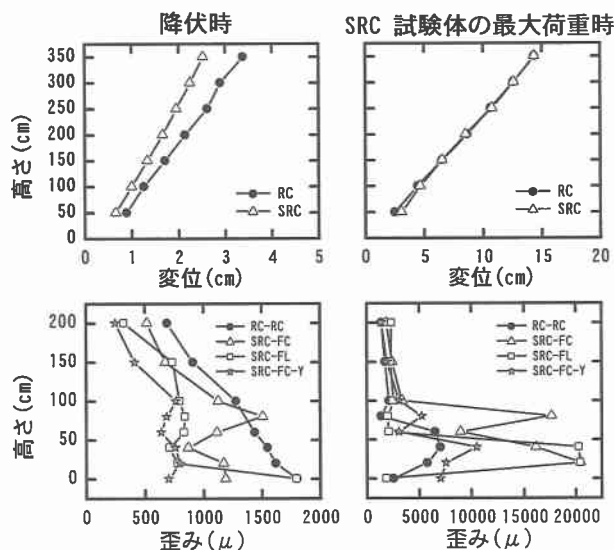
図－４に両試験体の降伏時と SRC 試験体の最大荷重時および同一変位における RC 試験体の変位および軸鉄筋と鋼管の歪の高さ方向分布を示す。なお、降伏時は RC 試験体では中央の軸鉄筋が、SRC試験体では端部軸



図－２ 実験装置の概略図



図－３ 荷重－変位関係



図－４ 変位および軸鉄筋と鋼管歪の高さ方向分布

鉄筋が初降伏した時点とした。降伏時における変位分布は両試験体ともに直線的であり、変位分布性状に大差がないことが分かる。一方、SRC試験体の最大荷重時および同一変位におけるRC試験体の変位分布性状は両者でほぼ同一であり、試験体天端変位が同一の場合、変位分布もほぼ同様であることが分かる。

一方、降伏時における RC 試験体中央軸鉄筋の歪分布は、基部から橋脚天端までほぼ直線的である。SRC 試験体中央の軸鉄筋歪は基部より 80 cm の高さで最も大きく、それより上方ではほぼ線形分布を示している。な

表－２ 実験および計算結果の比較

* 破壊に至らず

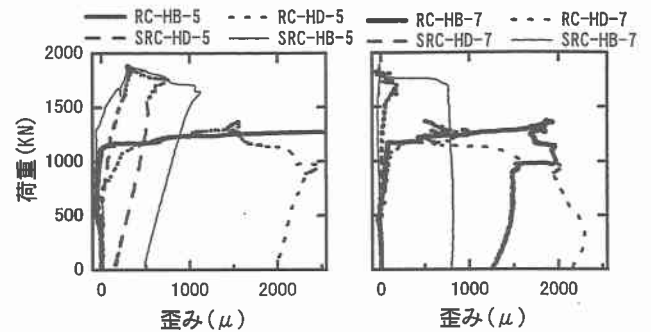
試験体名	降伏時				終局時			
	耐力 P_y (kN)		変位 δ_y (mm)		耐力 P_{max} (kN)		変位 δ_{max} (mm)	
	実験値	計算値	実験値	計算値	実験値	計算値	実験値	計算値
RC	821.0	986.5	33.8	25.0	1373.9	1145.4	441.9	321.0
SRC*	662.3	1181.7	25.2	36.8	1890.6	1512.2	385.0	229.6

お、基部から 80 cm の高さまでは歪が変動しているが大略歪レベルは 1,000~1,500 μ 程度である。これは、基部から 80 cm の高さまで鋼管内にコンクリートを充填しているため、鋼管背面の主鉄筋の張力分担が大幅に軽減されていることを示している。なお、SRC 試験体端部の軸鉄筋歪は橋脚基部では降伏歪に至っているもののそのわずかな上方では歪が大幅に減少している。これらのことから、SRC 構造における降伏時の決定および評価を端部軸鉄筋歪を用いて行うことは SRC 試験体全体の挙動を反映していない可能性がある。SRC 試験体の最大荷重時変位と同一の変位における RC 試験体中央の軸鉄筋歪は基部から 80 cm までの範囲で大きく、それより上方では降伏歪に至っていないことが分かる。これは、RC 試験体の損傷が基部から 1D (試験体の短辺幅) 程度で顕著であることに対応している。また、SRC 試験体中央の軸鉄筋歪は基部から 1D 程度までで大きく、それより上方では RC 試験体と同等程度である。これは、この荷重段階では SRC 試験体が RC 試験体よりも 800 kN 程度も大きな荷重に抵抗しているためであり、RC 試験体と同様に 1D の範囲で外力に強く抵抗しているためである。一方、SRC 試験体の降伏時における中央鋼管の軸方向歪は基部から 1D の範囲では 750 μ 程度とほぼ一定であり、最大荷重時では 1D の範囲で鋼管は降伏し、それより上方では線形に歪が減少している。

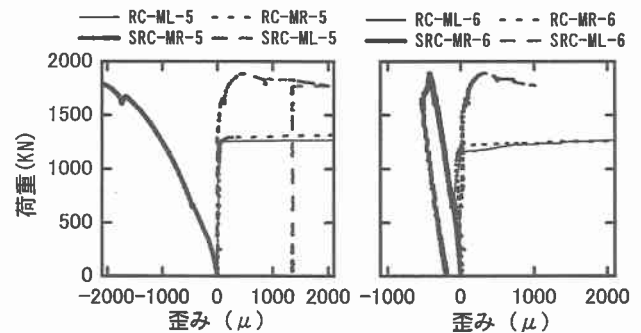
3.3. 帯鉄筋および中間帯鉄筋の歪性状

図－５に RC および SRC 試験体の端部帯鉄筋 HD-5, -7, HB-5, -7 の荷重と歪の関係を示す。図より、RC 試験体では載荷荷重が 1,100 kN 程度で帯鉄筋歪は急増し、荷重のわずかな増加とともに歪は大きく増大し、一部で降伏歪に達していることが分かる。一方、SRC 試験体では載荷荷重が大きいにも関わらず最大歪は 1,000 μ 程度以下であり、RC 試験体に比べて大幅に小さいことが分かる。これは、鋼管がせん断力を大きく分担して帯鉄筋の分担張力を低減しているためと考えられる。

図－６に RC および SRC 試験体の中間帯鉄筋 ML-5, -6, MR-5, -6 の荷重と歪の関係を示す。図より、RC 試験体では載荷荷重が 1,100 kN 程度で中間帯鉄筋歪は急増し、荷重のわずかな増加とともに歪は大きく増大して全ての中間帯鉄筋が降伏していることが分かる。一方、SRC 試験体の ML-5, 6 は最大荷重近くで大きく増大したものの最大歪は 2,000 μ 程度以下である。ただし、MR-5, -6 では載荷荷重とともに圧縮歪が励起され、最大荷重時には 2,000 μ 程度を示している。これは、SRC



図－５ 帯鉄筋の歪性状



図－６ 中間帯鉄筋の歪性状

試験体においては壁式橋脚の左右端部と中央において均等に応力が分担されていないことを示すものと考えられる。これは、SRC 試験体中の 3 本の鋼管のうち、外側 2 本と中央 1 本が完全に同一の挙動を示していないためであり、載荷点位置が左右の鋼管の位置に近いことと、この 2 本の鋼管周辺の剛性が極めて高いことに関連するものと考えられる。

3.4. 断面内歪分布

図－７に SRC 試験体中央における断面内の歪分布性状を、載荷荷重が 300, 600, 900, 1,800 kN について示した。なお、基部からの高さが 20, 60, 100 cm の 3 断面について整理している。基部から 20 cm の高さでは、1,800 kN において引張縁の鋼管に 5,000 μ 程度、圧縮縁の鋼管に 1,000 μ 程度の歪が生じていることが分かる。また、この段階ではすでに鉄筋の歪は線形関係を示していない。一方、900 kN 以下の載荷荷重ではほぼ平面保持が成立している。基部から 60, 100 cm の高さでは一部の圧縮鉄筋を除いて 1,800 kN まで大略平面保持が成立している。このように、SRC 試験体中央部においては、

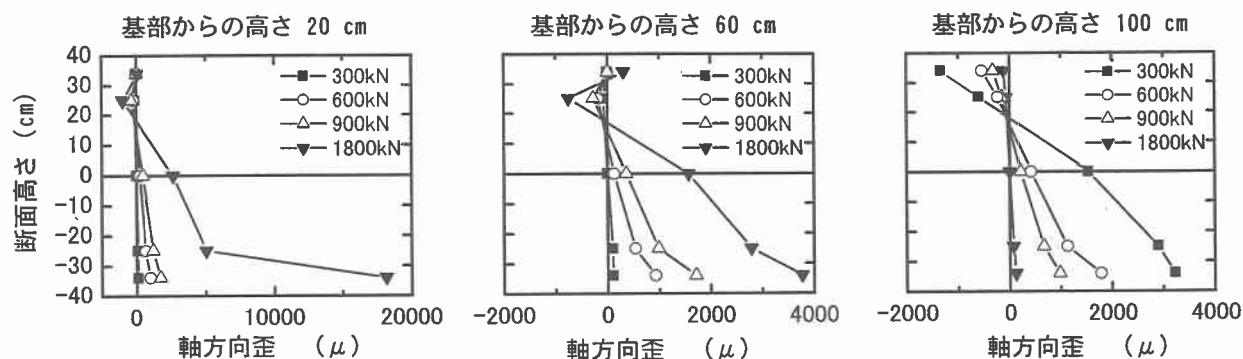


図-7 SRC 試験体の断面内歪分布

基部から 100 cm までの高さにおいて載荷荷重 900 kN 程度まで比較的良好に平面保持が成立している。

3.5. ひび割れ性状

図-8 に両試験体のひび割れ性状を示す。圧縮側平面図より、RC 試験体では基部の全面においてかぶりコンクリートが広範囲に剥落し、鉄筋が露出していることが分かる。なお、水平方向ひび割れは橋脚天端近傍では生じていない。一方、SRC 試験体では基部の左右端近傍において RC 試験体よりも高い範囲でかぶりコンクリートが剥落し、一部で鉄筋が露出している。水平方向のひび割れは天端近くまで発生し、また、RC 試験体にみられない鉛直方向のひび割れが橋脚中央および左右端近傍に発生している。これは、RC 試験体に比べてより大きな載荷荷重を受けたことや 3 本の鋼管が配置されていることに関連するものと考えられ、特に天端近傍の鉛直ひび割れは左右 2 本の鋼管部と中央の鋼管部が載荷点位置の関係もあって完全に一体化して挙動しなかったためと考えられる。

一方、引張側平面図より、RC 試験体では基部より 1D 程度まで、水平方向に密にひび割れが発生していることが分かる。SRC 試験体では水平方向ひび割れは RC 試験体に比べてさらに密な間隔で発生している。また、圧縮側と同様に引張側でも橋脚天端付近および鋼管の中心軸付近において鉛直方向のひび割れが発生している。側面のひび割れ図から、橋脚基部の損傷程度は低い載荷荷重で破壊したにも関わらず、RC 試験体の方が SRC 試験体よりも顕著であることが分かる。また、基部においては 1D 程度の高さまでかぶりコンクリートが剥落している。一方、SRC 試験体ではかぶりコンクリートの剥落がみられないものの水平方向ひび割れが断面中央付近から斜め下方に進展していることが分かる。

4. まとめ

実大規模の RC および外面リブ付き鋼管を用いた SRC 壁式橋脚を製作し、水平単調載荷試験によって耐荷性状を比較、検討した。本研究の範囲内で得られた知見を

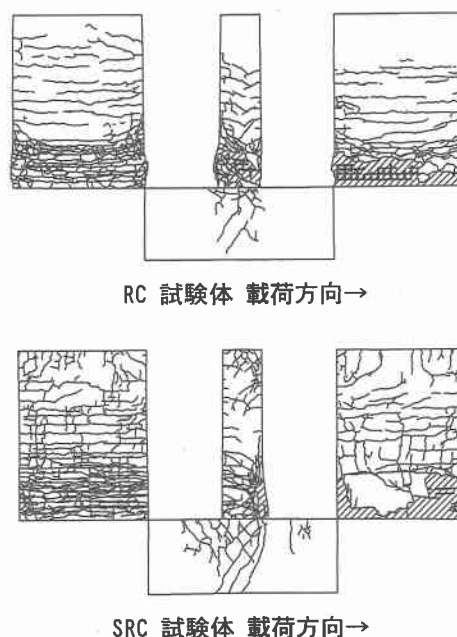


図-8 ひび割れ性状

まとめると以下の通りである。

- 1) SRC 試験体は RC 試験体と同等以上の耐力および変形性能を有する。
- 2) SRC 試験体基部の帯鉄筋、中間帯鉄筋に生じる歪は RC 試験体に比べて小さい。これは、鋼管がせん断力を大きく分担するためと考えられる。
- 3) SRC 試験体では鋼管部の剛性が高いため、載荷方法によっては応力分担性状が長辺方向で変化する可能性がある。

参考文献

- 1) 榎本英一郎, 川端 淳, 久 正, 田村多佳志, 篠崎裕生: 鋼管・コンクリート合成構造橋脚 (ML 工法) の設計と施工, 橋梁と基礎, pp.10-15, 1999.3
- 2) 三上 浩, 田村多佳志, 岸 徳光, 池田憲二: 外面リブ付き鋼管を用いた合成構造橋脚の耐荷性状に関する一考察, 構造工学論文集, Vol.47A, pp.1433-1444, 2001.3