

せん断余裕度を変化させた各種大型 PRC 桁の静的耐荷性状

Static Loading Test of Prototype PRC Beams with Various Shear-bending Capacity Ratios

開発土木研究所構造研究室

室蘭工業大学建設システム工学科

開発土木研究所構造研究室

ドーピー建設工業(株)

○正 員 今野久志(Hisashi Konno)

正 員 岸 徳光(Norimitsu Kishi)

正 員 池田憲二(Kenji Ikeda)

正 員 竹本伸一(Shin-ichi Takemoto)

1. まえがき

落石による災害から道路交通の安全を確保するための構造物として落石覆工がある。この種の構造物には主に RC 製と PC 製が採用されており、特に PC 覆工はプレキャスト部材を現地で組み立てることによって施工されることから、労働者不足への対応や工期短縮が可能であり、今後需要が増加するものと予想される。これらのことから、筆者らはこれまでに PC 単桁試験体を用いた実験や、PC 多主桁による衝撃荷重載荷実験¹⁾、さらに実規模 PC 覆工模型を用いた各種衝撃荷重載荷実験^{2),3),4)}を行い、荷重分担率や動的応答倍率、さらに構造形式の違いによる耐衝撃挙動や終局耐力に関する検討を行ってきた。

一方、PC 覆工は RC 覆工に比較し施工性には優れているものの、プレストレスの影響により靱性能は劣るとされており、RC 構造と PC 構造の両者の特徴を利用した PRC 製覆工の開発に関する研究も行われている⁵⁾。PC 覆工の安全性向上や大規模落石への対応を考慮すると、PC 主桁部材の残存耐力や終局までのエネルギー吸収量を可能な限り大きくすることが重要と考えられる。現行の PC 覆工部材は、PC 鋼材の降伏応力の 80% 程度のプレストレスを導入することを前提として設計されているが、PC 覆工の自重による断面力が衝撃荷重を含む全断面力の 20~30% であることを考慮すると、PC 鋼材の緊張率を低減すること、あるいは PC 鋼材量を低減してひび割れ制御用の異形鉄筋量を増加させることによ

て残存耐力やエネルギー吸収量を増加させることが可能であるものと考えられる。以上の様な考えの基に実施したこれまでの実験結果から、PC 鋼材の緊張率を低減させることによってせん断耐力も低減され、桁が曲げ破壊型からせん断破壊型に移行する可能性があることや、下縁異形鉄筋量を約 2 倍に増加させても、最大荷重およびエネルギー吸収量は 10% 程度しか増加しないこと等が明らかとなっている⁶⁾。

上記結果から、PRC 桁の残存耐力やエネルギー吸収量を大きくするためには、曲げ耐力に対するせん断耐力の比であるせん断余裕度を現行設計による PC 桁と同程度の値を確保しつつ PC 鋼材の緊張率を低減することがより合理的であるものと考えられる。また、覆工用 PRC 桁は、現場への運搬上の制約から断面寸法がある程度制限されるため、限られた断面寸法で耐力力を向上させるためには、ひび割れ制御用異形鉄筋の代わりに高強度の鋼材を使用することも有効であるものと考えられる。このような観点から、本研究ではせん断余裕度を現行設計と同程度とし、PC 鋼材の緊張率を低減した場合や緊張率を低減せずせん断余裕度を向上させた場合、さらには下縁異形鉄筋の代わりに総ネジ PC 鋼棒を使用した場合の各種大型 PRC 桁を製作して、静的載荷実験および衝撃載荷実験を行い、耐荷性状やエネルギー吸収量について比較検討を行った。本論文では、静的載荷実験の結果について述べる。

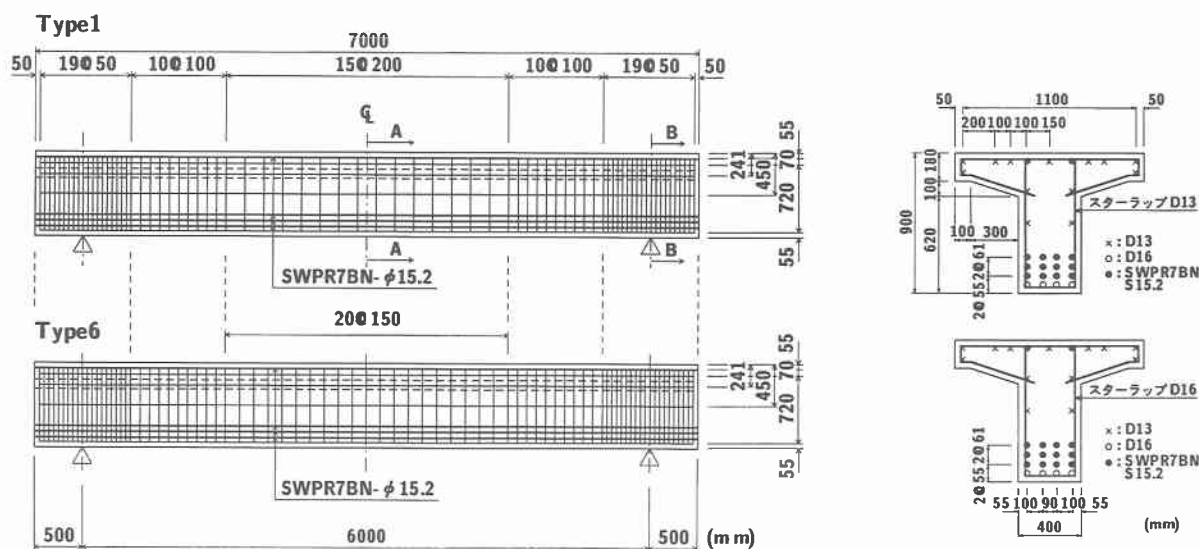
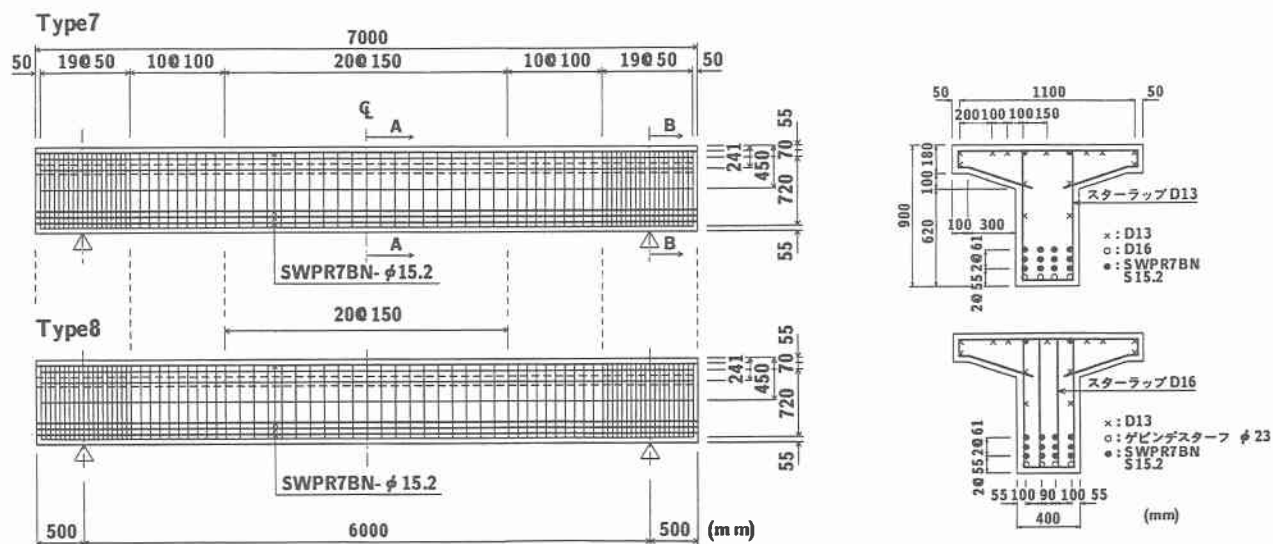


図-1(a) 供試体の形状寸法および配筋図 (Type1, Type6)



図－1 (b) 供試体の形状寸法および配筋図 (Type7, Type8)

表－1 供試体一覧

供試体名	PC鋼材 緊張率	PC鋼材 本数	下縁鋼材 種類・径*1	下縁鋼材 本数	有効緊張力 (kN/本)	総緊張力 (kN)	せん断 余裕度*2
Type1 P1.0-D16-S1.22	1.0	14	D16	4	133.3	1866.6	1.22
Type6 P1.0-D16-S1.51	1.0	14	D16	4	133.3	1866.6	1.51
Type7 P0.5-D16-S1.22	0.5	14	D16	4	67.2	941.3	1.22
Type8 P0.5-G23-S1.22	0.5	14	G23	4	67.2	941.3	1.22

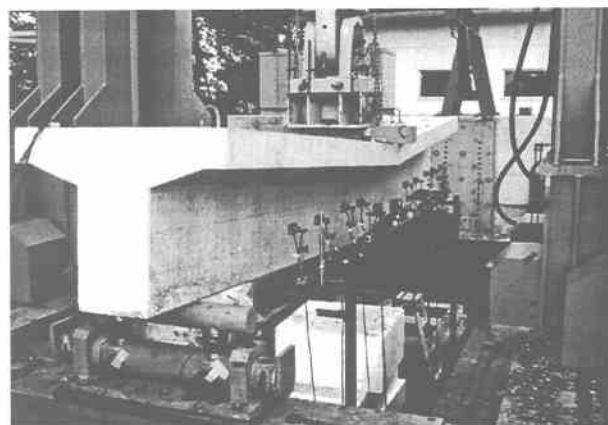
注) *1 D:異形鉄筋, G:総ネジPC鋼棒 *2 せん断耐力/曲げ耐力(表-2参照)

2. 実験概要

2.1 供試体

図－1 (a), (b)に実験に使用した供試体の形状寸法および配筋状況を示す。供試体は、桁長 700cm、ウェブ幅 40cm、上フランジ幅 120cm、桁高 90cm のプレテンション方式で製作した単純 T 型断面の PRC 桁である。使用した PC 鋼材は、SWPR7BN・φ 15.2 (公称断面積 138.7mm²) である。この PC 鋼より線の公称引張荷重、降伏点荷重はそれぞれ 261kN、222kN であり、使用状態における許容緊張力は 154kN である。また、供試体下縁の軸方向異形鉄筋および総ネジ PC 鋼棒はそれぞれ SD345・D16 およびゲビンデスターフ φ 23 (母材部断面積 415.5mm²、降伏点荷重 453kN) であり、圧縮側鉄筋およびスターラップには SD295A・D13 および D16 を使用している。

表－1 には供試体の一覧を示している。供試体は PC 鋼材 1 本当りりの有効緊張率(以下、単に緊張率と呼ぶ)、下縁鋼材の種類と径、せん断余裕度をパラメータにとった全 4 体である。ここで、緊張率は PC 鋼材 1 本当りりの有効緊張力が 133.3kN の場合を 1.0 として整理している。なお、表中の Type1 供試体は、昨年度実施した現行設計法の下に製作した基準供試体である。供試体名は、PC 鋼材の緊張率、下縁鋼材の種類と径およびせん断余



写真－1 実験状況

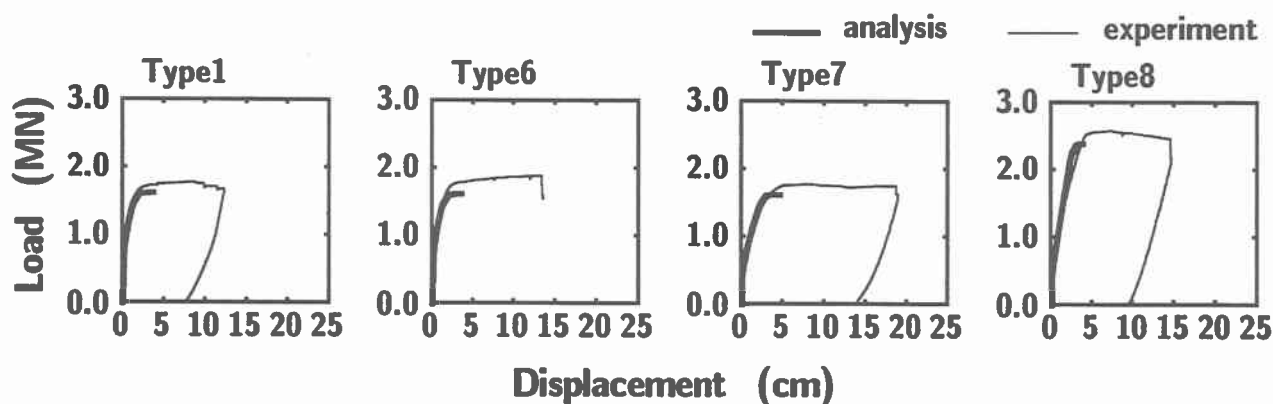
裕度の順に並べ記号化している。コンクリートは、設計基準強度が 58.8MPa、実験時の平均圧縮強度が 67.4MPa、弾性係数が 27.1GPa である。なお、実験はコンクリート打設後 43～45 日経過後に行っている。

2.2 実験方法および計測項目

写真－1 は静的載荷実験の状況を示している。実験は、最大荷重 2,942kN の油圧サーボ試験機を用いて行っている。また、実験は載荷速度 0.1mm/sec の変位制御で行い、載荷荷重が最大荷重発生以降に降伏荷重を下回った

表－２ 断面分割法による解析結果一覧

Type	Type1	Type6	Type7	Type8
総緊張力(kN)	1866.6	1866.6	941.3	941.3
初期上縁ひずみ(μ)	21	21	10	10
初期下縁ひずみ(μ)	-188	-192	-93	-99
下縁コンクリート ひび割れ発生荷重(kN)	730.6	734.0	474.6	464.2
下縁鋼材降伏荷重(kN)	1146.4	1158.3	811.0	1652.3
曲げ耐力(kN)	1629.9	1624.1	1626.7	2397.2
せん断耐力(kN)	1987.3	2447.3	1987.6	2923.0
せん断余裕度	1.22	1.51	1.22	1.22



図－２ 荷重－載荷点変位曲線の実験値と解析結果の比較

時点を終局と見なし終了している。供試体は、純スパン6mで単純支持し、幅20.5cm、厚さ15cm、長さ146cmの矩形鋼材を用いてスパン中央部に軸直角方向に線載荷している。計測項目は、ロードセルによる載荷荷重および支点反力、レーザ変位計による供試体各部の変位、ひずみゲージによる鉄筋ひずみである。また、実験終了後にひび割れ状態も記録している。

3. 実験結果と考察

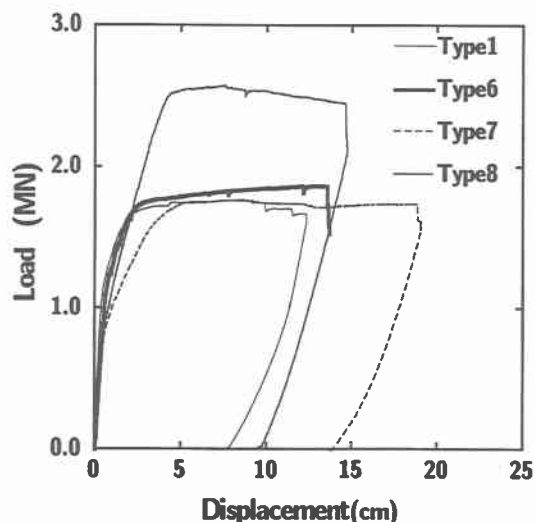
3.1 実験結果と解析結果の比較

表－２に断面分割法を用いて計算したプレストレス導入後の上下縁ひずみ、各段階の荷重および曲げ耐力、さらに土木学会コンクリート標準示方書に基づいて評価したせん断耐力、せん断余裕度を一覧にして示している。ここで、せん断余裕度は、曲げ耐力に対するせん断耐力の比である。なお、断面分割法は断面方向の分割数を177とし、材料試験結果と土木学会コンクリート標準示方書に準拠して各材料の応力－ひずみ関係および終局状態を設定し解析を行っている。

図－２は、実験により得られた荷重－載荷点変位曲線と断面分割法により求めた解析結果を比較して示している。なお、断面分割法による載荷点変位は、半スパンを10分割し、曲率の線形変化を仮定して算定している。図より、いずれの供試体に関しても、実験結果の最大荷重は解析結果に近い値を示している。しかしながら、最大変位については実験結果が解析結果に比較して大きく評価されている。

3.2 耐力およびエネルギー吸収量の比較

図－３には、各供試体の荷重－載荷点変位曲線を、ま



図－３ 荷重－載荷点変位曲線の比較

表－３ 実験結果の比較

Type	最大荷重 $P_{max}(MN)$	最大変位 $\delta_{max}(cm)$	エネルギー吸収量 $E(kJ)$
Type1	1.76(1.00)	12.39(1.00)	174.6(1.00)
Type6	1.87(1.06)	13.68(1.10)	234.8(1.34)
Type7	1.76(1.00)	19.07(1.54)	276.5(1.58)
Type8	2.57(1.46)	14.79(1.19)	284.4(1.63)

(): Type1を基準値とした場合の値

た表－３には図－３により求められた最大荷重、最大変位、エネルギー吸収量を一覧にして示している。比較を容易にするために、各項目に関し、Type1の値を基準に

無次元化した値を括弧内に示している。

最大荷重については、Type1 の値を基準にして考察すると、せん断余裕度を 1.22 から 1.51 に増加させた Type6 の場合には 6% 程度の増加である。せん断余裕度が 1.22 と同一で PC 鋼材の緊張率が 0.5 である Type7 の場合は、Type1 と同一の値となっている。しかしながら、Type7 の下縁異形鉄筋を総ネジ PC 鋼棒に代えた Type8 の場合には、最大荷重が 46% 程度増加しており、下縁鋼材を高強度材料とすることによる効果が示されている。

最大変位については、いずれの供試体も Type1 に比較して大きくなっている。Type6 の場合には 10%、Type8 の場合には 19% 増加しており、緊張率を低減した Type7 の場合には 50% 以上増加する結果となった。

エネルギー吸収量についても最大変位と同様にいずれの供試体も Type1 の場合よりも増加しており、Type6 の場合には 34% 増加しているのに対して、Type7 および Type8 の場合にはそれぞれ 58%、63% と大きく増加し、緊張率の低減や下縁鋼材を高強度材料とすることによりエネルギー吸収量を大幅に増加することができる結果となっている。

3.3 ひび割れ状況

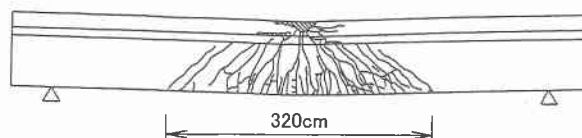
図-4 には実験終了後のひび割れ状況を示している。いずれの試験体も下縁に曲げひび割れが多数発生し、載荷点近傍コンクリートが圧壊により剥離するとともに、最終的には下縁鋼材の破断によって終局に至っている。供試体下縁のひび割れ分散幅について比較すると、せん断余裕度を向上させた Type6 の場合は、Type1 の場合に比較して分散幅が狭くなっている。また、PC 鋼材の緊張率を低減した Type7 の場合は Type1 とほぼ同程度であり、下縁鋼材に高強度材料を用いた Type8 の場合は狭いピッチで多数のひび割れが発生しており、分散範囲も非常に広がっている。従って、緊張率を 0.5 とし下縁鋼材として総ネジ PC 鋼棒（ゲビンデスタープ）を用いる場合が最もひび割れの分散性に優れていることが分かる。

4. まとめ

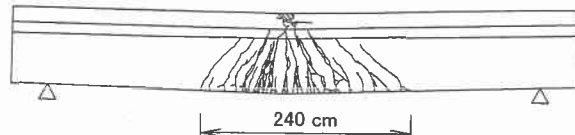
高耐力およびエネルギー吸収性能に優れた PC 覆工用部材を開発することを目的として、せん断余裕度、PC 鋼材の緊張率や下縁鋼材の種類をパラメータに取った大型 PRC 桁の静的載荷実験を実施した。本研究で得られた結果を要約すると、以下のとおりとなる。

- 1) せん断余裕度を 1.22 から 1.51 に向上させた場合には最大荷重や最大変位を 10% 程度増加させることが可能であり、エネルギー吸収量については 30% 以上増加する。
- 2) せん断余裕度を現行設計と同程度とし PC 鋼材の緊張率を 0.5 とした場合には、最大荷重はほぼ同程度となるが、最大変位を 50% 以上増加させることができ、エネルギー吸収量を 60% 程度増加させることができる。
- 3) 下縁異形鉄筋を高強度総ネジ PC 鋼棒とする場合には、最大荷重を 50% 程度増加させるとともに、エネルギー吸収量も 60% 程度増加させることができる。

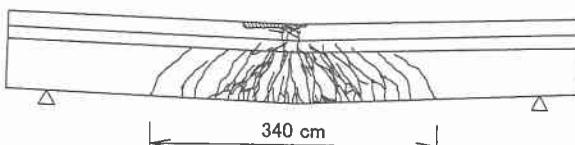
Type1
P1.0 - D16 - S1.22



Type6
P1.0 - D16 - S1.51



Type7
P0.5 - D16 - S1.22



Type8
P0.5 - G23 - S1.22

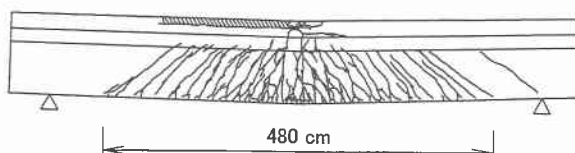


図-4 実験終了後のひび割れ状況

今後は、さらに本 PRC 桁を用いた衝撃載荷実験を行い、本研究結果を含め耐衝撃挙動やエネルギー吸収量等について検討を行う予定である。

参考文献

- 1) 菅田紀之、中野 修、岸 徳光、三上 浩：PC 多主桁上に設置した新素材を用いた RC 版を有する緩衝構造の緩衝特性、コンクリート工学年次論文報告集、Vol.15、No.2、pp.941~946、1993.6
- 2) 西 弘明、佐藤昌志、岸 徳光、松岡健一：敷砂緩衝材を用いた実規模 PC 落石覆工の衝撃挙動、コンクリート工学年次論文報告集、Vol.17、No.2、pp.691~696、1995.6
- 3) 佐藤昌志、西 弘明、岸 徳光、松岡健一：三層緩衝構造を用いた実規模 PC 製落石覆工の重錘落下衝撃挙動、構造工学論文集、Vol.42A、pp.1347~1356、1996.3
- 4) 佐藤昌志、西 弘明、岸 徳光、松岡健一：実規模 PC 覆工モデルの耐衝撃性に関する実験的研究、構造工学論文集、Vol.44A、pp.1851~1860、1998.3
- 5) 今野久志、佐藤弘史、長尾彰洋：PC 鋼材量および鉄筋の割合を多くした PRC 桁の衝撃実験について、土木学会第 49 回年次学術講演会講演概要集、1-B、pp.1620~1621、1994.9
- 6) 今野久志、佐藤昌志、竹本伸一、松岡健一：各種大型 PRC 桁の静的耐荷性状に関する実験的研究、コンクリート工学年次論文報告集、Vol.21、No.3、pp.925~930、1999.6