

I-67

各種大型 PRC 桁の静的載荷実験

北海道開発局 ○正 員 今 野 久 志
 北海道開発局 正 員 佐 藤 昌 志
 室蘭工業大学 フェロー 松 岡 健 一
 北海道開発局 正 員 西 弘 明

1. はじめに

海岸線や山岳部の道路には落石による災害から道路交通の安全を確保するために落石覆工が建設されている。落石覆工は構造部材別に分類すると RC 製、PC 製、鋼製の 3 種類に分類される。これらの中で、PC 覆工は工場内で品質管理されて製作されたプレキャスト部材を現地で組み立てることにより施工されることから、今後の労働者不足の解消や工期短縮が可能であり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 単桁供試体を用いた実験や、PC 多主桁による衝撃載荷実験¹⁾さらに実規模 PC 覆工模型を用いた各種衝撃載荷実験^{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、現行の PC 覆工部材は、PC 鋼材の降伏応力の 80 % 以上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 0.2 ~ 0.3 であり、かつ落石による衝撃荷重に不確実性があることを考慮すると、ある程度 PC 鋼材のプレストレスを低減した方が部材の残存耐力や終局エネルギー量を大きくできるものと考えられる。このことから筆者らは現行の力を基本とする PC 桁の設計思想にエネルギー論的な考え方を導入した合理的な PC 桁の耐衝撃設計手法を確立することを目的として、PC 鋼材の緊張率や本数、ひびわれ制御用異形鉄筋量を変化させた各種 PRC 桁を用いた実験を行ってきた^{5),6)}。

本研究では、上記小型 PRC 桁模型を用いた実験結果を基に、実 PC 覆工への PRC 部材の適用を考慮して行った各種大型 PRC 桁の静的載荷実験の結果について報告する。

2. 実験概要

表-1 供試体の一覧

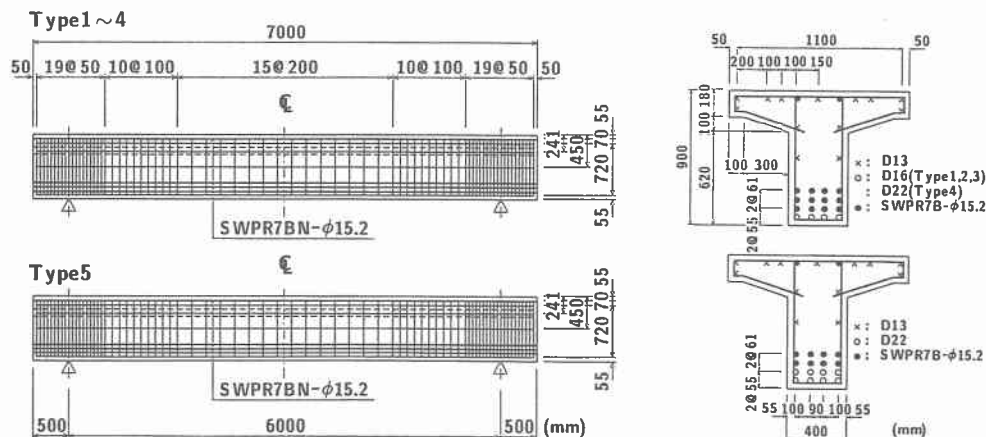
実験に使用した供試体は、フランジ幅 120 cm、桁高 90 cm、桁長 700 cm のプレテンション方式で製作した大型 PRC 桁である。用いた緊張材は、SW PR7BN-φ15.2 (公称断面積 138.7 mm²) である。この PC 鋼より線の公称引張荷重、降伏点荷重はそれぞれ 26.6 tf、22.6 tf であり、使用状態における許容緊張力は 15.8 tf である。

本実験に用いた供試体の一覧を表-1 に示している。試験体数は PC 鋼材の有効緊張率 (以下、単に緊張率と呼ぶ)、PC 鋼材本数、ひびわれ制御用異形鉄筋本数をパラメータにとった全 5 体である。表中の試験体名は、PC 鋼材の緊張率、PC 鋼材の本数、異形鉄筋径および本数の順に並べ記号化している。

試験体名	PC 鋼材 緊張率	PC 鋼材 本数	異形 鉄筋 本数	有効 緊張力 (tf/本)	換算 鋼材比
Type1 P1.0×14-D16×4	1.0	14	D16×4	13.6	0.0157
Type 2 P0.5×14-D16×4	0.5	14	D16×4	6.9	0.0157
Type 3 P0.25×14-D16×4	0.25	14	D16×4	3.4	0.0157
Type 4 P1.0×14-D22×4	1.0	14	D22×4	13.6	0.0174
Type 5 P1.0×10-D22×8	1.0	10	D22×8	13.6	0.0156

Static Loading Test on Various Types of Large Scale PRC Beams

by Hisashi KONNO, Masashi SATO, Ken-ichi G. MATSUOKA and Hiroaki NISHI



図－１ 試験体配筋図

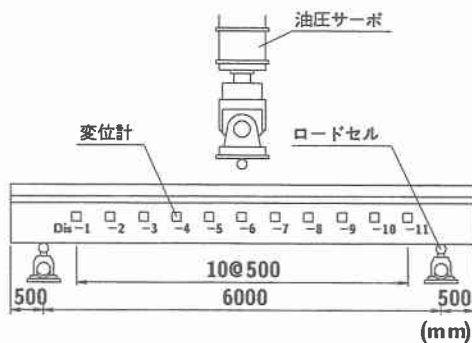
表－２ 断面分割法による解析結果

Type	Type 1	Type 2	Type 3	Type 4	Type 5
総緊張力 (tf)	190.4	96.6	47.6	190.4	163.2
初期上縁ひずみ (μ)	21	10	5	20	1
初期下縁ひずみ (μ)	-188	-95	-47	-185	-111
下縁コンクリート ひび割れ発生荷重 (tf)	74.5	47.7	26.5	75.3	54.1
下縁鋼材降伏荷重 (tf)	116.9	83.0	62.0	132.6	123.4
曲げ耐力 (tf)	166.2	166.1	166.1	182.0	162.0
せん断耐力 (tf)	190.8	138.0	110.4	196.4	158.6
せん断余裕度	1.14	0.83	0.66	1.08	0.98

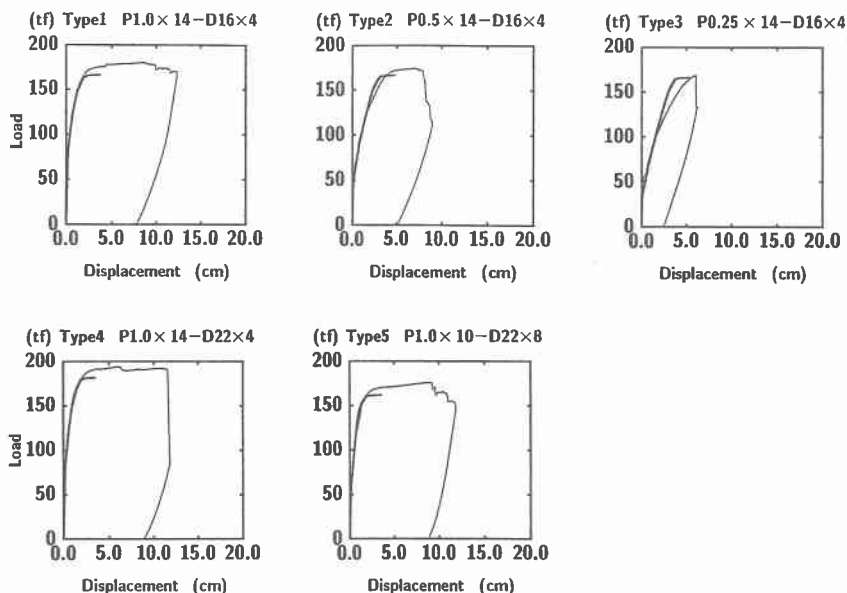
図－１に試験体の配筋図を示している。コンクリートは実験時の平均圧縮強度が 722 kgf/cm^2 ，弾性係数が $3.6 \times 10^5 \text{ kgf/cm}^2$ である。なお実験はコンクリート打設後 107～115 日経過後に行っている。

表－２は，上記物性値を考慮し，断面分割法を用いて初期の上下縁ひずみおよび各荷重段階の荷重および曲げ耐力，示方書に基づいたせん断耐力，せん断余裕度を一覧にして示している。なお，断面方向の分割数は 177 とし，コンクリート，異形鉄筋，PC 鋼材の応力－ひずみ関係は各材料の材料試験結果に基づいて評価している。表より Type3 のせん断余裕度は緊張力の低減により 0.66 と最も小さいことが分かる。

図－２に実験概要図を示している。供試体は，純スパン 6 m とし $\phi 50 \text{ mm}$ の丸鋼でスパン中央部を線載荷している。測定項目は，載荷荷重の他，ロードセルによる支点反力，スパン中央から両支点方向に 50 cm。



図－２ 実験概要図



図－3 荷重－載荷点変位曲線

ピッチで設置したレーザ式変位計による供試体変位，さらにスパン中央から片側支点方向に 50 cm ピッチで上下縁鉄筋に添付した合計 12 点のひずみゲージによる鉄筋ひずみである．また，実験終了後にひびわ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

図－3 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，実験結果の荷重－変位曲線は表－2 のせん断余裕度に対応して，せん断余裕度の最も小さい Type3 の最大荷重時変位の伸びが最も小さく，せん断破壊を示唆している．また，次いでせん断余裕度の小さい Type2 の荷重－変位曲線は Type3 と Type1 の中間的な性状を示しており，せん断破壊モードが少なからず影響を与えているものと推察される．

表－3 は，実験結果の最大荷重 (P_u) および載荷点の最大変位 (δ_u) を解析結果と比較して示している．表中の () は解析値に対する実験値の割合を示している．表より，実験値の P_u は解析値に比較して 10 % 程度大きな値を示している．また，実験値の δ_u に関しては Type3 の実験値の 10 % 程度解析値よりも大きい程度であるが，その他の 4 体については実験値の δ_u は解析値の 1.5 倍～2.7 倍と大きく異なっている．これは前述のように，Type3 はせん断破壊が卓越していることに起因している．

表－2 解析結果と実験結果の比較

Type	断面分割法の結果		実験結果	
	P_u (tf)	δ_u (cm)	P_u (tf)	δ_u (cm)
Type 1	160.4	4.75	179.6 (1.12)	12.38 (2.61)
Type 2	160.5	5.99	173.4 (1.08)	9.02 (1.51)
Type 3	160.5	6.77	167.5 (1.04)	6.20 (1.09)
Type 4	176.0	4.41	193.4 (1.10)	11.96 (2.71)
Type 5	158.6	4.73	175.3 (1.11)	11.98 (2.53)

3.2. 耐力およびエネルギー吸収能に関する比較検討

表一4は、実験より得られた P_{cr} , P_y , P_u , δ_u およびエネルギー吸収量 E と断面分割法によって得られた荷重－変位曲線において最大荷重状態で残留変位するものと仮定した場合のエネルギー吸収量 E_a を一覧にして示したものである。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 () で示している。以下、各組み合わせごとに考察を行う。

(1) 緊張率の違いによる比較

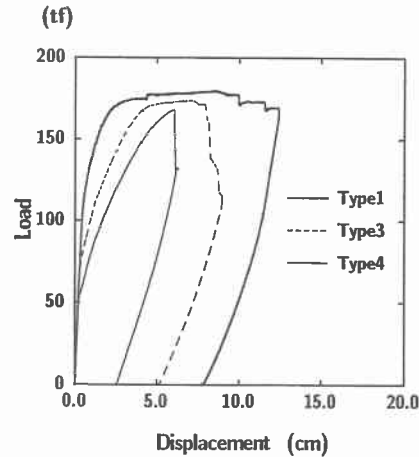
図一4は、鋼材配置が同一で PC 鋼材の緊張率のみ異なる 3 試験体の荷重－変位曲線を示している。緊張率を 50 %、25 % と低減することによって P_{cr} の値は緊張率 100 % の場合に比較しそれぞれ 64 %、43 % に低減している。また、 P_y についても緊張率を低減することによって 72 %、61 % に低減するが、 P_u については、それぞれ 97 %、93 % とほぼ同程度の大きさとなっている。 δ_u については緊張率 25 % においてせん断破壊が卓越することにより緊張率 100 % の 1/2 になっている。エネルギー吸収量について比較すると、実験結果による E は緊張率の低減とともに 63 %、31 %、と大きく低下しているが、解析結果による E_a は実験結果とは逆に 1.2 倍、1.3 倍と増加する結果となっている。前述のように、緊張率の低い試験体はより小さい荷重段階で、破壊形態が曲げからせん断破壊へ移行し、変形が成長する前に桁が破壊したためと考えられる。

(2) 鉄筋量の違いによる比較

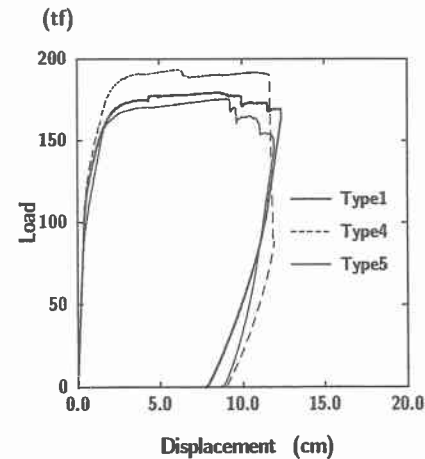
図一5は、緊張率が 100 % と同一で、下縁異形鉄筋径を D16 から D22 に換えた場合（鉄筋比約 2 倍）および最下段の PC 鋼材を D22 の異形鉄筋に置き換えた場合の荷重－変位曲線を Type1 の結果と比較して示している。 P_{cr} については下縁異形鉄筋を D22×8 本とした Type5 の場合には Type1 に比較して 72 % と低下しているが、 P_y , P_u , δ_u は両者ともほぼ同様の値となっている。下縁異形鉄筋を D22 に置き換えた Type4 に関しては P_{cr} , δ_u は Type1 と同程度の値であるが、 P_y , P_u , E については 10 % 程度増加している。エネルギー吸収量 E について比較すると、実験結果

表一4 実験結果の比較

Type	実験結果					解析結果
	P_{cr} (tf)	P_y (tf)	P_u (tf)	δ_u (cm)	E (tf・cm)	E_a (tf・cm)
Type 1	116.0 (1.00)	158.0 (1.00)	179.6 (1.00)	12.38 (1.00)	1779.8 (1.00)	684.1 (1.00)
Type 2	74.0 (0.64)	114.0 (0.72)	173.4 (0.97)	9.02 (0.73)	1126.4 (0.63)	819.0 (1.20)
Type 3	50.0 (0.43)	96.0 (0.61)	167.5 (0.93)	6.20 (0.50)	546.2 (0.31)	886.9 (1.30)
Type 4	120.0 (1.03)	174.0 (1.10)	193.4 (0.98)	11.96 (0.97)	2028.5 (1.14)	690.4 (1.01)
Type 5	84.0 (0.72)	158.0 (1.00)	175.3 (0.98)	11.98 (0.97)	1727.9 (0.97)	670.7 (0.98)



図一4 荷重－変位曲線の比較（緊張率）



図一5 荷重－変位曲線の比較（鉄筋）

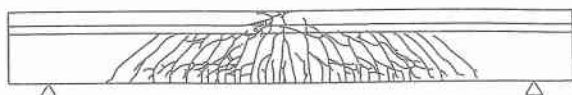
Type 1
P1.0×14-D16×4



Type 2
P0.5×14-D16×4



Type 3
P0.25×14-D16×4



Type 4
P1.0×14-D22×4



Type 5
P1.0×10-D22×8

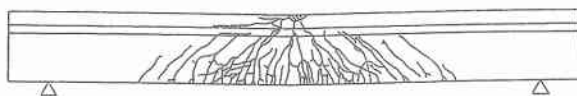


図-6 実験終了後のひびわれ状況

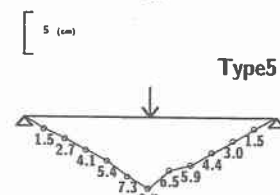
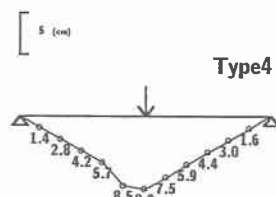
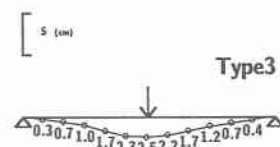
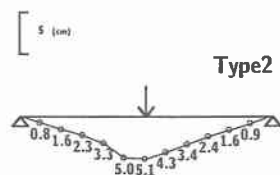
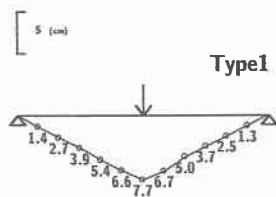


図-7 終局時の残留変位分布

は解析結果 E_a に比較し 2.6 ~ 2.9 倍大きくなっているが、Type1 に対する比率で比較するとほぼ同程度の値となっている。

3.3. ひびわれ状況および残留変位

図-6 に実験終了後のひびわれ状況を、また、図-7 に終局時の残留変位分布を示している。いずれの試験体も下縁に曲げひびわれが多数発生し、載荷点部の圧壊あるいは載荷点部から図-6 の左側支点部へ向かうせん断ひびわれ (Type 2, 3) によって破壊に至っていることがわかる。試験体下縁のひびわれ分散幅について比較すると、PC 鋼材量、異形鉄筋量が同一で緊張率のみが異なる Type1, 2, 3 試験体を比較すると、緊張率が低くなる程ひびわれの分散幅が大きくなっていることがわかる。しかしながら、Type3 の変位が最も小さい状態で終局に至っていることでせん断破壊型であることを暗示している。また、緊張率が同一で下縁の異形鉄筋量が異なる Type1, 4, 5 の 3 体を比較すると、下縁の異形鉄筋量が多くなるに従ってひびわれ分散幅が大きくなっていることも確認でき、異形鉄筋量のひび割れ分散効果を確認できる。

4. まとめ

耐衝撃性およびエネルギー吸収能に優れた PC 覆工の部材設計法を確立することを目的として、PC 鋼材の緊張率やひびわれ制御のための下縁異形鉄筋量を変化させた場合の大型 PRC 桁の静的耐荷性状やエネルギー吸収量に着目して静的載荷実験を行った。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) プレストレス力を減少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ため、注意が必要である。
- 2) 下縁異形鉄筋量を約 2 倍に増加させることによって、最大荷重およびエネルギー吸収量を 10 % 程度増加させることができる。
- 3) 緊張率を低減するあるいは下縁異形鉄筋量を増加させることによって、ひびわれの分散幅を大きくすることができる。しかしながら、緊張率の低減によって最終的にせん断破壊を呈する可能性があるため注意が必要である。

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) 竹本伸一, 佐藤昌志, 三上 浩, 松岡健一: PRC 梁の静的耐荷性状に関する実験的研究, 土木学会北海道支部論文報告集, 第 53 号(A), pp.574 ~ 579, 1997.2
- 6) 竹本伸一, 岸 徳光, 三上 浩, 今野久志: T型 PRC 梁モデルの重錘落下衝撃実験, 土木学会北海道支部論文報告集, 第 54 号 (A), pp.504 ~ 509, 1998.2