

## (53) PRC梁の耐衝撃性に関する基礎的研究

## A STUDY ON IMPACT RESISTANCE OF PRC BEAMS

岸 徳光\*, 三上 浩\*\*, 竹本伸一\*\*\*

Norimitsu KISHI, Hiroshi MIKAMI and Shin-ichi TAKEMOTO

\* 工博 室蘭工業大学助教授 工学部建設システム学科 (〒050 北海道室蘭市水元町 27-1)

\*\* 工博 三井建設(株)技術研究所 主任研究員 (〒270-01 千葉県流山市駒木 518-1)

\*\*\* ドーピー建設工業(株)技術センター (〒170 東京都豊島区北大塚 1-16-6 大塚ビル 4F)

キーワード: PRC 梁, 衝撃荷重, 吸収エネルギー

( PRC beam, impact load, absorption energy )

## 1. はじめに

コンクリート製落石覆工構造物には大別して RC 製と PC 製がある。前者は現場施工型であり、後者は工場製作した構成部材を現地で組み立てる工法である。将来の労働者不足や工期短縮を考える場合、PC 製覆工の採用が今後ますます増加するものと考えられる。一方、平成元年の一般国道 305 号線(福井県越前海岸)における岩盤崩壊による PC 製覆工の倒壊例を期に、RC 梁、PC 梁の耐衝撃挙動に関する研究や覆工構造物の合理的設計法に関する研究が盛んに行われるようになった。

建設省土木研究所でも、この種の小型模型を用いた実験的研究を行っており、独自の実験結果に基づいて、RC 構造が PC 構造よりも耐衝撃性に優れているとして、RC 構造と PC 構造双方の特徴を利用した PRC 製覆工の採用を提案している<sup>1)2)</sup>。しかしながら、未だ具体的な断面設計法に関する提案がなされていない。また、現実に敷砂緩衝材を用いて重量数トン、落下高さ 30 m 程度の落石を想定する場合には、PC 製においても梁高が 100 cm 以上となり、プレストレスの効果と鉄筋の補強効果の双方を考慮した梁断面は現地組立が不可能なほどの大きさになるものと考えられる。

一方、PC あるいは RC 構造は、静的な終局荷重や終局吸収エネルギーが大きい部材ほど耐衝撃性も大きいものと推察される。特に、PC 部材の場合は、PC 鋼材の導入緊張力を小さくしてその残存耐力を増加させかつ静的終局吸収エネルギーを増大させることによって、梁の耐衝撃性を向上させる方法もあるものと考えられる。

本研究では、従来の設計の考え方に準拠して耐衝撃性に優れた PRC 製落石覆工の設計方法を確立することを目的として、静的な終局荷重や終局吸収エネルギーの大きい場合が耐衝撃性に優れているという仮定に基づいて、実規模の PRC 梁を取り上げ PC 鋼材による導入緊張力の引張耐力に対する割合(緊張率)やひびわれ制御のための補強筋量を変化させた場合の耐衝撃性について検討を行った。本論文では、現行の落石対策便覧に則し重量 1 tf、落下高さ 30 m の落石を想定して試設計されたスパン 10 m の両端単純支持 PRC 梁について、断面分割法を用いて得られた曲げモーメント曲率関係を基本にして、静的な終局荷重、変形量、吸収エネルギーを求め、数値解析的に検討を行った。

## 2. PC 梁の基本断面設計

数値解析検討のための、PRC 梁の基本断面設計は、スパン 10 m の単純支持 PRC 梁上に重量  $w = 1$  tf、落下高

H = 30 m の落石荷重が載荷した場合を想定して行った。落石によって生じる最大衝撃力  $P_0$  は緩衝材として敷厚  $h_s = 90$  cm (単位体積重量  $\gamma_s = 1.8$  tf/m<sup>3</sup>) の敷砂単層を設定し、落石対策便覧式に則してラーメの定数  $\lambda = 100$  tf/m<sup>2</sup> とする振動便覧式より算出することとした。すなわち、

$$P_0 = 15.49 \times W_t^{2/3} \times H_t^{3/5} = 119.2 \text{ (tf)} \quad (1)$$

である。また、コンクリートの設計基準強度、単位体積重量はそれぞれ  $f_{ck} = 600$  kgf/cm<sup>2</sup>、 $\gamma_c = 2.5$  tf/m<sup>3</sup> と仮定している。これらの条件より、自重および衝撃力による最大曲げモーメント  $M_d, M_1$ 、および破壊曲げモーメント  $M_r$  を求めると、それぞれ、

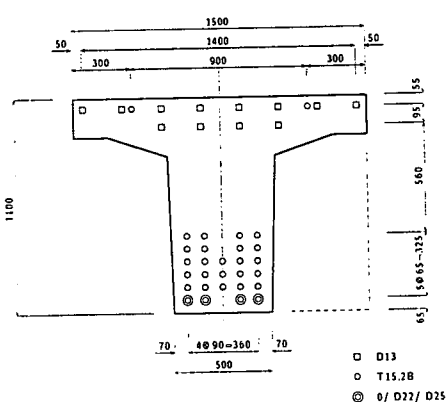
$$M_d = 56.90 \text{ tfm}, \quad M_1 = 271.22 \text{ tfm}, \quad M_r = 1.1M_d + 1.2M_1 = 388.05 \text{ tfm}$$

となる。従って、設計は破壊曲げモーメント  $M_r = 388.05$  tfm に対して行うこととし、頂版幅 1.5 m、頂版厚 20 cm、ウェブ幅 50 cm、梁高 1.1 m の T 型断面を基本断面形状とした。数値検討は基本断面形状に対して上縁および下縁曲げ応力度がそれぞれ同程度になるように PC 鋼材量と緊張力を変化させた 3 種類の PRC 梁について行った。表-1 に各ケースの PC 鋼材本数、緊張力や各荷重成分に対する上下縁曲げ応力度を一覧に示している。なお、PC 鋼材は SWPR 7B T15.2 を用いることとし、頂版部の鉄筋として D13 を 12 本、ひびわれ制御のための下端の補強筋としては、D22 あるいは、D25 を用いることとした。ケース 1、2 は、PC 鋼材本数を 25 本として緊張率を変えた場合、ケース 3 は鋼材本数を 32 本としてケース 2 と同程度の緊張率とした場合である。表より上縁の合成応力度は 3 ケースともほぼ同一であり、下縁応力度はケース 2 がケース 1、3 より 20 ~ 30 kgf/cm<sup>2</sup> 程度大きな値となっている。図-1 に各ケースの配筋図の概念図を示している。数値解析では各基本ケースに対して、さらに下端補強筋量による静的終局荷重や変形量、吸収エネルギーへの影響を検討するため、補強筋無しの場合 (タイプ-0)、D22 を 4 本 (タイプ-22)、あるいは D25 を 4 本 (タイプ-25) 用いる場合の各 3 タイプについて検討することとした。

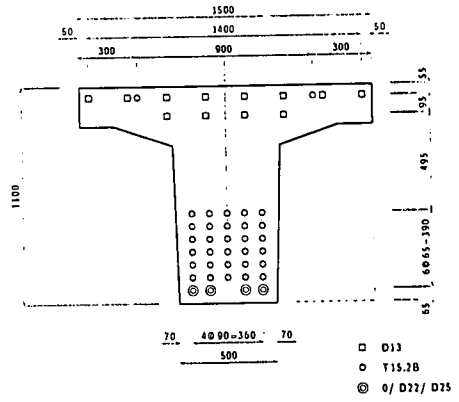
表-1 各基本ケースの設計応力状態一覧

ケース	ケース 1	ケース 2	ケース 3
PC 鋼材本数	25	25	32
有効緊張力 (tf/本)	13.14	10.44	10.00
全緊張力 (tf)	328.5	261.0	320.0
緊張率 (%)	49.38	39.26	37.57
①死荷重による曲げ 応力度	27.5	27.5	27.5
	-43.6	-43.6	-43.6
②衝撃荷重による 曲げ応力度	131.2	131.2	131.2
	-207.8	-207.8	-207.8
③ = ① + ② (kgf/cm <sup>2</sup> )	158.7	158.7	158.7
	-251.4	-251.4	-251.4
④プレストレス応力 (kgf/cm <sup>2</sup> )	-16.2	-12.8	-12.0
	131.2	104.3	121.8
③ + ④ (kgf/cm <sup>2</sup> )	142.5	145.9	146.7
	-120.2	-147.1	-129.6

上段：上縁応力度、下段：下縁応力度  
+：圧縮応力、-：引張応力



(a) ケース 1、2



(b) ケース 3

図-1 各ケースの配筋概念図

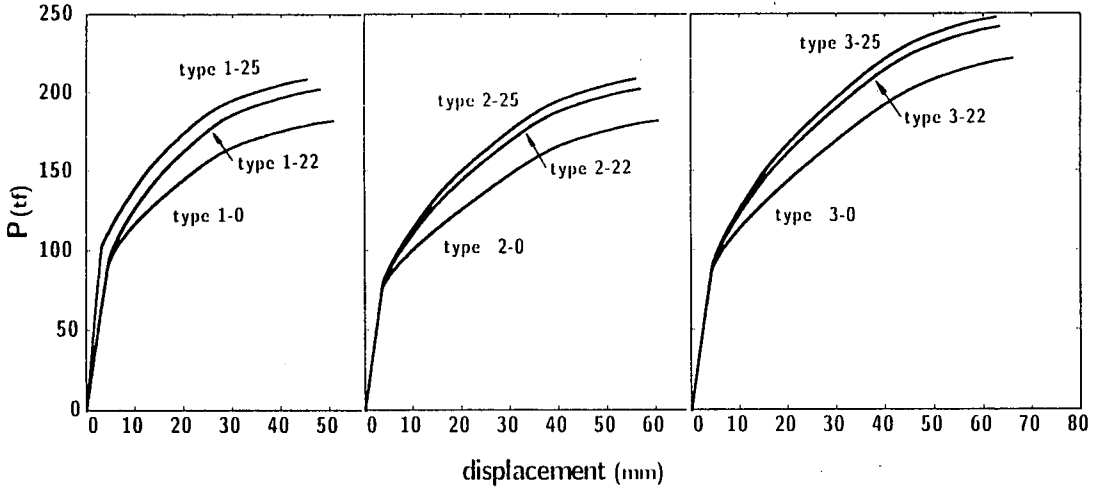


図-2 各ケースごとの荷重-変形図

### 3. 数値解析

#### 3.1 荷重-変形特性

各解析ケースの耐荷性状を検討するために、梁中央部に1点集中荷重が載荷した場合の荷重-変形関係を断面分割法を用いて算出した。数値解析は、コンクリート標準示方書の仮定に基づいてコンクリート、鉄筋、PC鋼より線の応力-歪関係式を決定し、梁の圧縮縁コンクリート歪が $3500\mu$ に達した状態を梁の終局状態であると定義して行った。なお、断面の分割数は80である。

図-2に各基本ケースごとの荷重-変形図を、また図-3には下端補強筋のない場合(タイプ-0)についての結果を比較して示している。図-2より、弾性域では下端補強筋の有無、補強鉄筋の量の大小にかかわらず同一の剛性勾配を示していることがわかる。また、補強筋無しの場合(タイプ-0)には、補強筋有りの場合(タイプ-22,-25)と比較して、終局荷重は小さいものの、変形量は若干大きな値を示していることがわかる。これは、下端補強筋量を増加させることにより、引張側の剛性が増加し上縁の圧縮破壊が先行する形になるためと考えられる。

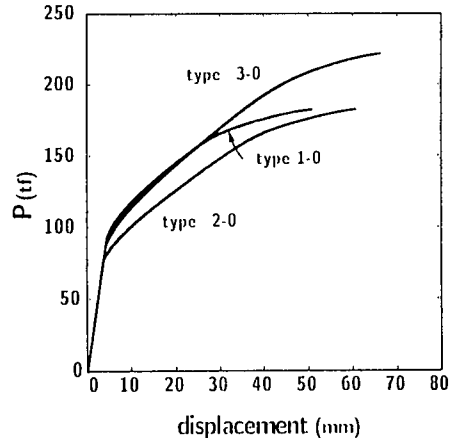


図-3 各タイプの荷重-変形関係の比較図

図-3のタイプ1-0,2-0の結果より、緊張率が小さい場合(タイプ2-0)は緊張率が大きい場合(タイプ1-0)に比べて、荷重変形曲線が低く押さえられるものの、終局荷重が同程度で、かつ変形量が大きくなるため、結果的に終局吸収エネルギー量も大きくなるのがわかる。

一方PC鋼材本数を32本と増加させて緊張率をケース2、総緊張力をケース1と同程度にしたケース3の場合は、弾性域もケース1より若干広がっており、さらに終局変形量、終局荷重も増加するため、3ケースの中で最も大きな吸収エネルギー量を示している。

#### 3.2 終局状態における各物理量の比較

表-2には各解析ケースの終局状態における抵抗曲げモーメント、終局荷重、変形量、吸収エネルギー量を一覧にして示している。ケース1,2の結果を比較すると、緊張率の差が抵抗曲げモーメント、終局荷重に与える影響が小さく、各下端補強筋量に対して両者ほぼ同一となっている。しかしながら、変形量は前項で示しているようにケース2の方が大きく、各タイプ-0,-22,-25ごとに比較するといずれもケース2の方が20%以上増加している。従っ

表一 終局状態時の各物理量一覧

ケース	$M_u$ (tfm)	$M_u/M_r$	終局荷重 (tf)	終局変位量 (mm)	終局吸収エネルギー (tfm)
1-0	456.82	1.18	182.73 (1.00)	50.55 (1.00)	7.31 (1.00)
1-22	507.80	1.31	203.12 (1.11)	47.81 (0.95)	7.57 (1.04)
1-25	523.44	1.35	209.38 (1.15)	47.07 (0.93)	7.65 (1.05)
2-0	456.97	1.18	182.79 (1.00)	60.41 (1.20)	8.42 (1.15)
2-22	508.03	1.31	203.21 (1.11)	56.81 (1.12)	8.75 (1.20)
2-25	523.69	1.35	209.47 (1.15)	55.83 (1.10)	8.84 (1.21)
3-0	555.14	1.43	222.05 (1.22)	65.96 (1.30)	10.95 (1.50)
3-22	605.10	1.56	242.04 (1.32)	63.21 (1.25)	11.45 (1.57)
3-25	620.72	1.60	248.29 (1.36)	62.46 (1.24)	11.60 (1.59)

(注1)  $M_u$  : 抵抗曲げモーメント、 $M_r = 388.05$  (tfm)  
 (注2) ( ) 内の数字は、1-0 に対する比率

て、吸収エネルギー量もケース 2 の方が大きく、その程度は各ケースごとで約 16% となる。ケース 3 はケース 1, 2 に対して、抵抗曲げモーメント、終局荷重ともにタイプ -0, -22, -25 の各ケースに対して 18 ~ 20% 大きくなっている。また、終局変形量、吸収エネルギー量はケース 1-0 に対してそれぞれ 26 ~ 33%, 50 ~ 60% ほど大きく示されていることがわかる。

図-4 には、終局荷重、変形量、吸収エネルギーについて、ケース 1-0 の値を用いて無次元化して整理している。図より、終局荷重は下端補強筋を配筋することにより、10% 程度大きくなるが、終局変形量、吸収エネルギーに関しては、補強筋量よりも PC 鋼材の緊張率が大きく影響を与えていることがわかる。特に、吸収エネルギー量に関してはケース 3-0 がケース

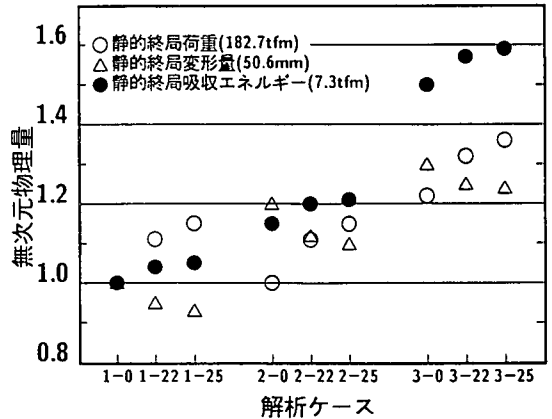


図-4 ケース 1-0 の結果を用いた各物理量の無次元化

1-0 に対して 50% 以上の増加となっている。この値は PC 鋼材量の増加率 ( ( 32 - 25 ) / 25 ) 28% よりも大きな値である。これは、終局荷重が大きく終局吸収エネルギーの大きなものほど耐衝撃性に優れていると仮定するならば、PC 鋼材の緊張率を低下させ PC 鋼材本数を増やすことにより、入力衝撃エネルギー量の増加率を PC 鋼材量の増加割合よりも大きくすることができることを意味している。

#### 4. まとめ

従来からの設計法に準拠して耐衝撃性に優れた PRC 製落石覆工の設計手法を確立することを目的として、PRC 梁の耐衝撃性あるいは入力衝撃エネルギー限界が静的終局荷重および吸収エネルギー量に対応するとの仮定に基づいて、実規模の PRC 梁を用いた数値検討を行った。

本研究では、PC 鋼材の緊張率やひびわれ制御のための下端補強筋量を実施工可能範囲で変化させ、断面分割法に基づいて数値解析を行い静的終局荷重、変形量、吸収エネルギー量を算定し検討を行った。本数値解析結果を基に、PRC 梁の耐衝撃性を評価するならば、下端補強筋の効果は数 % 程度であるが、PC 鋼材の緊張率を低下させて PC 鋼材本数を増加させた場合の効果は鋼材量の増加割合よりも大きな耐衝撃性の向上が期待できるものと考えられる。