

# 緩衝材を介して衝撃力を受ける PC 梁の力積に関する考察

防衛大学校 学生員〇畑野真吾 正会員 黒田一郎 正会員 古屋信明 (株) 日本サミコン 正会員 中村佐智夫

## 1 はじめに

通常、落石覆工に用いられるコンクリート梁は、RC、PC を問わず、曲げ破壊がせん断破壊に先行するように設計されているが、衝撃荷重の載荷位置と支承位置によっては脆性的にせん断破壊する危険性は避けられない。また、落石覆工上面には敷砂等の緩衝材があり、衝撃荷重をある程度まで緩和もしくは分散させている。しかし、緩衝材がある場合の耐衝撃性に関する研究は、主に曲げに関する問題を対象として行われている。そこで筆者達は、緩衝材を介して衝撃を受ける PC 梁のせん断挙動に関して研究を行った。

## 2 実験要領

### 2.1 実験器材

表 - 1 に材料の諸元を、図 - 1 に PC 梁の形状および断面寸法を示す。PC 鋼より線（導入プレストレス量：66.6kN/本）の定着を十分確保するために、供試体の全長は2000mmとし、さらに梁両端に厚さ10mmの定着鋼板を設けている。PC 鋼より線は2本ずつ2段に分けて計4本配置しており、ボンド状態（コンクリートとの付着有り）としている。スターラップは、梁全長にわたってD6鉄筋を100mm間隔で19本配置している。これは、通常設計されるPC製落石覆工部材においてせん断補強筋が一番少ない部類に相当する。

緩衝材として、PC 梁の上に鋼製の砂箱（幅300mm、長さ400mm、深さ300mm）を設置し、中に珪砂7号または碎石を約240mmあるいは120mmの厚さまで入れた。また、緩衝材の効果を衝撃の緩和・荷重の分散の二面と考えた時、前者のみを抽出することを意図して、ロードセル下端とPC梁の間には幅150mm・厚さ25mm・長さ75mmまたは150mmの鋼板（SS400）（以降、載荷板と呼ぶ）を挟んだ。

### 2.2 単一重錘落下衝撃実験

図 - 2 に重錘落下衝撃実験要領を示す。今回の載荷は、質量0.3tの重錘を所定の高さから1回だけ落下させる単一重錘落下方式とした。重錘先端形状は半径100mmの円柱形で、その最先端部は平坦である。載荷点荷重は供試体と砂箱の間に設置したロードセルにより、載荷点下縁の鉛直方向変位はレーザー式変位計により計測した。載荷スパンは、確実にせん断破壊させるために250mm+750mmの左右非対称（せん断スパン比： $a/d \approx 1.3$ ）とした。

表 - 2 に実験ケースおよび結果の一覧を示す。供試体名については頭から、載荷板長さ(mm)-緩衝材厚(mm)・種類(SはSand, GはGravel)-落下高さ(m)-重錘質量(t)を示す。以降、直接衝突をNCシリーズ、緩衝砂厚240mmを240Sシリーズ、緩衝砂厚120mmを120Sシリーズおよび緩衝砂利厚240mmを240Gシリーズと呼ぶことにする。

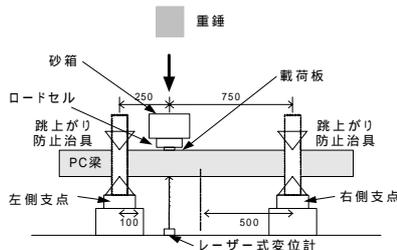
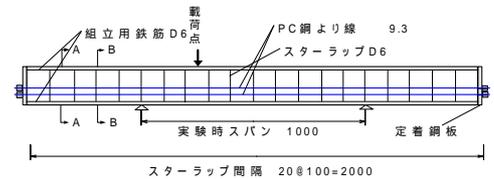


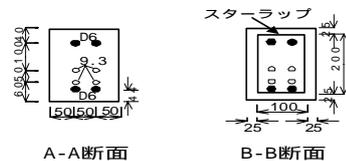
図 - 2 重錘落下衝撃実験の要領

表 - 1 材料諸元

| 材料名                      | 項目  | 数値等   |
|--------------------------|---|-------|
| コンクリート                   | 水セメント比(%)   | 35    |
|                          | セメント(kg/m <sup>3</sup> )  | 389   |
|                          | 水(kg/m <sup>3</sup> )   | 136   |
|                          | 細骨材(kg/m <sup>3</sup> )   | 752   |
|                          | 粗骨材(kg/m <sup>3</sup> )   | 1178  |
|                          | 載荷実験時の圧縮強度(N/mm <sup>2</sup> )  | 60.2  |
| PC鋼より線 (SWPR7AN)         | 0.2%永久伸び強度 (N/mm <sup>2</sup> )   | 1759  |
| スターラップ, 組立筋 D6鉄筋(SD295A) | 降伏強度 (N/mm <sup>2</sup> )   | 388   |
| 緩衝砂                      | 名称  | 珪砂7号  |
|                          | 平均粒径(D <sub>50</sub> )(mm)  | 0.22  |
|                          | 均等係数(D <sub>60</sub> /D <sub>10</sub> )                                 | 1.5   |
|                          | 曲率係数 (D <sub>30</sub> <sup>2</sup> /D <sub>10</sub> × D <sub>60</sub> ) | 0.84  |
|                          | 単位体積質量(kg/m <sup>3</sup> )  | 2.6   |
|                          | 産地  | 岐阜県土岐 |
| 緩衝砂利 (碎石)                | 平均粒径(D <sub>50</sub> )(mm)  | 10.5  |
|                          | 均等係数(D <sub>60</sub> /D <sub>10</sub> )                                 | 17.3  |
|                          | 曲率係数 (D <sub>30</sub> <sup>2</sup> /D <sub>10</sub> × D <sub>60</sub> ) | 0.74  |
|                          | 単位体積質量(kg/m <sup>3</sup> )  | 2.5   |
|                          |   |       |



(a) 形状寸法



(b) 断面寸法

図 - 1 実験供試体

表 - 2 実験ケースおよび結果の一覧

| 供試体名                 | 最大荷重 P <sub>MAX</sub> (kN) | 残留変位 r(mm) | PC梁が受けた力積 I <sub>r</sub> (kN·S) | 衝撃継続時間 t(ms) | 載荷後の状態 |
|----------------------|----------------------------|------------|---------------------------------|--------------|--------|
| 75S                  |                            |            |                                 |              |        |
| 75T-NC-1.4H-0.3t     | 488.5                      | 1.3        | 1.84                            | 9.8          |        |
| 75T-NC-2.3H-0.3t     | 698.8                      | 12.9       | 1.44                            | 7.2          | ×      |
| 75T-240S-4.0H-0.3t   | 194.8                      | 0.2        | 1.98                            | 21.0         |        |
| 75T-240S-8.0H-0.3t   | 343.7                      | 0.5        | 3.18                            | 17.0         |        |
| 75T-240S-11.0H-0.3t  | 431.4                      | 1.9        | 3.86                            | 18.0         |        |
| 75T-240S-13.0H-0.3t  | 432.3                      | 3.6        | 4.26                            | 22.0         |        |
| 75T-240S-15.0H-0.3t  | 494.6                      | 5.1        | 4.75                            | 21.0         |        |
| 75T-240S-16.0H-0.3t  | 536.9                      | 5.4        | 4.98                            | 22.0         |        |
| 75T-240S-17.0H-0.3t  | 552.7                      | 72.6       | 3.83                            | 27.0         | ×      |
| 75T-120S-8.0H-0.3t   | 457.7                      | 1.1        | 3.53                            | 17.0         |        |
| 75T-120S-8.2H-0.3t   | 577.6                      | 8.7        | 2.82                            | 14.0         |        |
| 75T-120S-8.5H-0.3t   | 509.3                      | 37.7       | 3.04                            | 9.1          | ×      |
| 75T-120S-9.5H-0.3t   | 533.8                      | 12.8       | 3.59                            | 18.0         | ×      |
| 150T-240S-17.0H-0.3t | 579.9                      | 7.2        | 5.30                            | 24.0         |        |
| 150T-120S-8.5H-0.3t  | 593.9                      | 8.0        | 3.95                            | 17.0         |        |
| 75T-240G-4.0H-0.3t   | 179.6                      | 0.6        | 2.44                            | 26.0         |        |
| 75T-240G-16.0H-0.3t  | 555.3                      | 64.3       | 3.86                            | 24.0         | ×      |

・衝撃載荷後の状態の凡例  
 : 無傷 曲げひび割れ発生 : せん断ひび割れ発生 × : 完全にせん断破壊  
 ・静的載荷後の状態の凡例  
 : 曲げひび割れ幅が大きいため、載荷中止 × : 完全にせん断破壊

キーワード : PC 梁, せん断破壊, 砂緩衝材, 衝撃

連絡先 : 〒239-8686 神奈川県横須賀市走水 1-10-20 TEL:0468-41-3810(内線 3517) FAX:0468-44-5913

### 3 実験結果

#### 3.1 力積～運動量関係

図-3に力積( $I_T$ )～重錘運動量( $M_0$ )関係を示す。図-3以降の記号の意味は次のとおりである。□, ■, ▲: NC シリーズ。◇, ◆, ◆: 240S シリーズ。△, ▲, ▲: 120S シリーズ。○, ●, ●: 240G シリーズ。○, ●, ●: 150T シリーズ。また、すべてのシリーズにおいて、白抜き: 無傷, 灰網掛け: 曲げもしくはせん断ひび割れ, 黒塗り: 完全にせん断破壊, を示している。 $I_T$ はPC梁の受けた全力積である。図-3から分かるように、 $I_T$ は $M_0$ に近い値を示している。すなわち、重錘が有していた運動量がほぼPC梁の力積になっていることがわかった。

#### 3.2 緩衝材の効果

緩衝材を介して衝撃力を受けるPC梁の挙動に対する力積の効果を考察するために、図-4(a)～(b)に $M_0$ ～諸力の関係を示す。(a)では、NCシリーズ以外において、 $M_0$ に対して最大衝撃荷重( $P_{MAX}$ )がほぼ比例して大きくなること、しかし各シリーズとも緩衝材が厚くなるほど、同じ $M_0$ に対し $P_{MAX}$ が小さくなることがわかる。(b)では、重錘の運動量とは関係なく、平均衝撃荷重( $P_{AVE}=I_T/\Delta t$ )が概ね200kNに集中していることがわかる。 $P_{AVE}$ はPC梁に対して数msから約20msまでの衝撃継続時間( $\Delta t$ )にわたって平均的に作用した荷重であり、緩衝材の有無や $M_0$ の大きさを問わずにほぼ等しい値を示していることから、緩衝効果はPC梁に入力された力積の大きさに比例するように $\Delta t$ を引き伸ばす形で発揮された、と評価することが可能かもしれない。

図-5に力積率(PC梁に伝えられた力積÷重錘運動量)と $M_0$ の関係を示した。せん断破壊していないPC梁は100%に近い値を示しているのに、せん断破壊に至ったPC梁は $M_0$ が大きいほど $I_T/M_0$ が小さくなっている。これは緩衝材のシリーズ毎に、ある $M_0$ (言い換えれば落下高さ)まで緩衝効果が十分に発揮されていたのに、限界値を越えたときにPC梁は過大な運動量を有する重錘から梁を破壊するに足るだけの衝撃力を受けた、ということを意味している。

### 4 結論

本研究は、緩衝材を介して衝撃力を受けてせん断破壊するPC梁の破壊挙動について実験的研究を行い、その結果から運動量の面に関して緩衝効果の考察を行った。本研究において得られた知見は以下の通りである。

- (1) 重錘が有していた運動量がほぼそのまま、PC梁に与えられた力積となっていた。
- (2) 緩衝材が厚くなると、同じ重錘運動量に対し最大衝撃荷重が小さくなっていた。
- (3) 緩衝効果は、衝撃継続時間をPC梁に入力された力積の大きさに比例するように引き伸ばす形で発揮されている、ように考えられる。
- (4) ある重錘運動量まで緩衝効果を十分に発揮していた緩衝材も、限界値を超えたときにPC梁を防護できず、梁は過大な運動量を有する重錘から梁を破壊するに足るだけの衝撃力を受けた。

### 5 謝辞

本研究における実験において、防衛大学校建設環境工学科・大野友則教授、同・別府万寿博助手、同・山本佳士助手、理工学研究科・千賀孝宣学生のご指導・ご協力を賜りました。ありがとうございました。

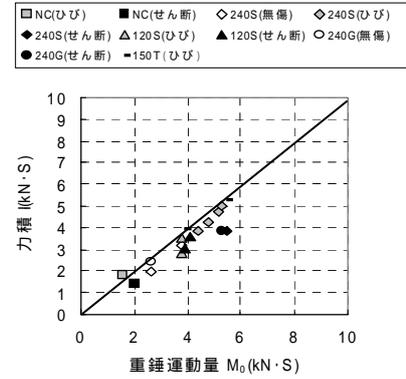


図-3 力積( $I_T$ )～運動量( $M_0$ )関係

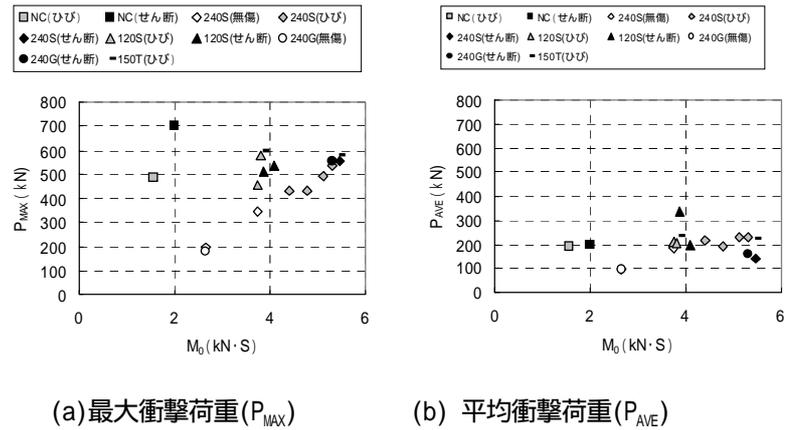


図-4 重錘運動量( $M_0$ )～諸力の関係

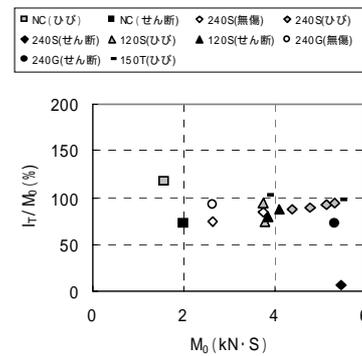


図-5 力積率( $I_T/M_0$ )～重錘運動量( $M_0$ )の関係