

落石覆工用 PRC 主桁の耐衝撃設計法

北海道開発土木研究所 正員 ○今野久志
室蘭工業大学 正員 岸 徳光

北海道開発土木研究所 正員 池田憲二
ドーピー建設工業(株) 正員 竹本伸一

1. はじめに

著者らは、現行設計法に基づいて製作した 落石覆工用 PRC 桁に対して、せん断余裕度を同程度とする条件下で、PC 鋼材の緊張率を 50 % 程度に低減することや下端筋鋼材を総ネジ PC 鋼棒とすることによって、耐衝撃性や靱性能を向上できることを実験的に明らかにしている。本論文では、実験結果を基に、最大支点反力と静的曲げ耐力の関係やエネルギー収支関係を用いた落石覆工用 PRC 桁の耐衝撃設計用曲げ耐力算定のための簡易算定式の定式化を試み、耐衝撃設計フローを提案している。

2. 実験結果概要

重錘落下衝撃実験は、各試験体の耐衝撃性を直接比較検討するために、3,000 kg の重錘を所定の高さから一度だけ衝突させる単一載荷法により実施している。試験体の破壊は、実験終了時の残留変位量が純スパン長の 1 % に達した時点（本試験体では 6 cm）を目安とした。

図-1 には、各試験体の支点反力-載荷点変位履歴曲線を示している。Type A は、設計落石衝撃力を約 600 kN（落石質量 1,000 kg、落下高さ 10 m）として現行設計法により製作した基準試験体である。Type B は PC 鋼材の緊張率を 50 % に低減した場合、Type C は PC 鋼材の緊張率を 50 % に低減しさらに下端筋鋼材を総ネジ PC 鋼棒としたものである。Type A 試験体の場合には、底面の広い三角形形状の履歴曲線を示しており、せん断破壊に至っていることがわかる。また、実験終了時の残留変位も 21.5 cm と破壊の目安である 6 cm を大幅に超過している。一方、Type B および Type C の履歴曲線は単純な三角形形状の分布性状を示しているものの、除荷後はプレストレス力の影響により残留変位が小さい値まで復元し振動状態を示している。残留変位量が破壊の目安として設定した値を多少超過しているものの未だ余剰耐力を有しており、耐衝撃性に優れていることが確認できる。

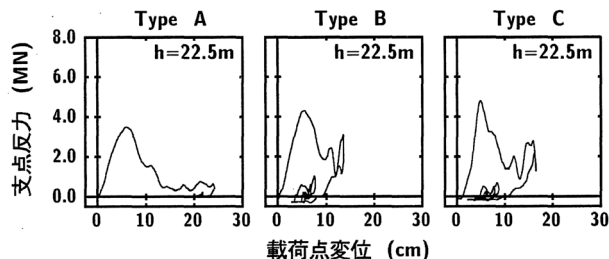


図-1 支点反力-載荷点変位履歴曲線

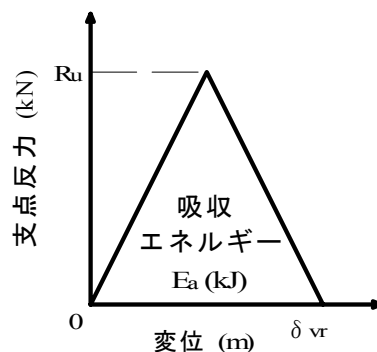


図-2 支点反力-変位関係の模式化

3. 落石覆工用 PRC 桁の耐衝撃設計法

耐衝撃設計用曲げ耐力算定式の定式化においては、以下の事項を考慮した。1) 設計のための終局限界状態を桁の残留変位が純スパン長の 1 % に達した時点とすること、2) 桁の支点反力-載荷点変位履歴曲線（R- δ 履歴曲線）は、図-1 に示す実験結果からも明かなように、終局時近傍でほぼ三角形形状の分布性状を示すこと、3) 衝撃荷重除荷後、プレストレス力の作用により残留変位が大幅に低減されることより、エネルギー吸収量算定のための仮想残留変位 δ_r を設定すること、等である。以上の考慮の基に、支点反力-載荷点変位履歴曲線を、図-2 に示される最大支点反力 R_u と載荷点の仮想残留変位 δ_r で囲まれる三角形分布に模式化する。

定式化に際しては、Type B, C の落下高さ 22.5 m における単一載荷実験結果と過去に実施した Type B の落下高さ 15.0, 17.5, 20.0 m における単一載荷実験結果を用いることとする。

図-2 の支点反力-変位関係の模式図より吸収エネルギー E_a は、式 (1) で表される。

$$E_a = R_u \cdot \delta_r / 2 \quad (1)$$

仮想残留変位 δ_r を残留変位 δ_r を用いて評価するために、実験結果のエネルギー吸収量 E_a 、最大支点反力 R_u を用いて、残留変位 δ_r に対する倍率 γ を求めると、平均値 $\gamma = 2.16$ を得る。いま、設定残留変位に対してもこの値を適用可能であるものと仮定すると、式 (1) は、

$$E_a = R_u \cdot \delta_r / 2 \div R_u \cdot \delta_r \quad (2)$$

ここで、最大支点反力 R_u と静的曲げ耐力 P_{usc} の比を動的応答倍率 α 、吸収エネルギー E_a と入力エネルギー E_k の比をエネルギー比 β とすると、

キーワード：落石覆工，PRC 桁，緊張率，耐衝撃設計

連絡先：〒062-8602 札幌市豊平区平岸 1 条 3 丁目 1 番 34 号，TEL: (011)-841-1698，FAX: (011)-820-2714

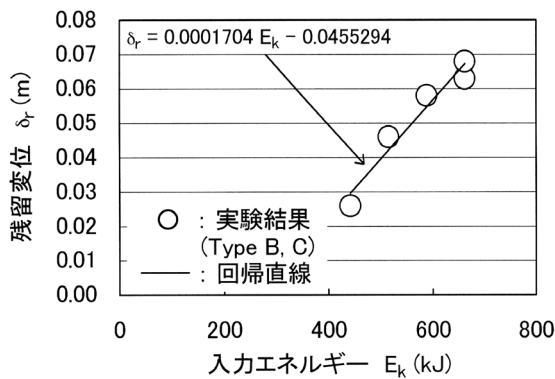


図-3 入力エネルギーと残留変位の関係

$$R_u = \alpha P_{usc}, \quad E_a = \beta E_k \quad (3), (4)$$

式(3), (4)を式(2)に代入すると,

$$P_{usc} = (\beta \cdot E_k) / (\alpha \cdot \delta_r) \quad (5)$$

となり, 設計のための静的曲げ耐力 P_{usc} が決定される.

図-3は, 入力エネルギー E_k と残留変位 δ_r の関係を示している. 回帰式から残留変位が終局限界状態として規定した純スパン長の1% ($\delta_r = 0.06$ m) に達する時の入力エネルギー E_k を求めると, $E_k = 619$ kJ となる.

同様に入力エネルギーと支点反力, 入力エネルギーと吸収エネルギーの関係より回帰式を求め, 上記入力エネルギー E_k に対する支点反力 R_u および吸収エネルギー E_a を求めると, それぞれ $R_u = 4,529$ kN, $E_a = 274$ kJ となる.

以上の結果より, 動的応答倍率 α とエネルギー比 β を求めると, 動的応答倍率 $\alpha = 2.96$, エネルギー比 $\beta = 0.44$ となる. これらの値を式(5)に代入すると, 以下の式が得られる.

$$P_{usc} = 0.15 \cdot E_k / \delta_r \quad (6)$$

ここで, 耐衝撃設計時に要求される PRC 桁の静的曲げ耐力 (以下, 試験体の静的曲げ耐力 P_{usc} と区別し, 耐衝撃設計用静的曲げ耐力 P_{usd} と呼ぶ.) を定式化すると, P_{usd} は, 式(6)の定数を丸めて次式のように示される.

$$P_{usd} = \frac{1}{6} \frac{E_{kd}}{\delta_{rud}} \quad (7)$$

ここで, P_{usd} : 耐衝撃設計用静的曲げ耐力 (kN),

E_{kd} : 落石による設計入力エネルギー (kJ),

δ_{rud} : 落石覆工用 PRC 桁の終局残留変位 (m)

ただし, 式(7)は, 落石衝突時に PRC 桁の残留変位が純スパン長の1%程度に達する状態を終局時とした場合の算定式である. また, 提案の設計手法に基づいた落石覆工用 PRC 桁の耐衝撃設計フローを図-4に示す.

4. まとめ

本研究により, 現行設計法の下に製作した試験体よりも耐衝撃性, 靱性能に優れた PRC 桁の耐衝撃設計用静的曲げ耐力の算定式を定式化した. 特に静的せん断余裕度を現行の PC 桁の設計と同程度とし, PC 鋼材の緊張率を

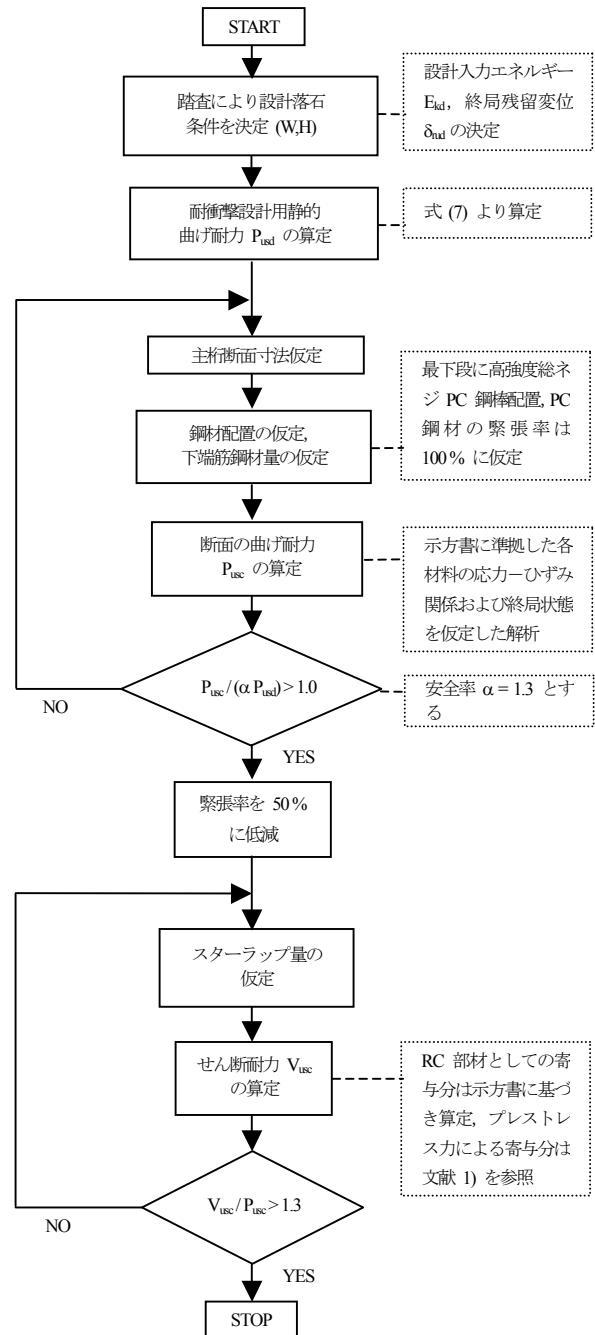


図-4 落石覆工用 PRC 桁の耐衝撃設計フロー

50% に低減し, 下端筋鋼材として高強度総ネジ PC 鋼棒を使用する場合には, 1) 現行の設計に基づいて設計した PC 桁断面に対して大幅な小型化が可能であり, 製造, 輸送, 施工の観点からコスト削減に寄与できること, 2) 下端筋鋼材に異形鉄筋を用いる場合よりも一層ひび割れの分散効果が期待できること, 3) PC 落石覆工で対応可能な落石範囲をさらに拡大可能であること, 等の理由により, 上記設計法に基づいて設計された PRC 桁は耐衝撃性および靱性に優れた合理的な断面になるものと考えられる.

参考文献

1) 佐藤 勉, 山住克己, 渡邊忠明: プレストレストコンクリートはりのせん断強度, 鉄道総研報告, Vol.2, No.8, 1988.8