

段落し部を有する橋脚の破壊断面の耐力を用いた損傷位置評価

九州工業大学
株式会社ウエスコ

学生会員 黒田雅裕
正会員 二井伸一

九州工業大学
阪神高速道路株式会社

正会員 幸左賢二
正会員 西岡勉

1. はじめに

近年の内陸直下型地震において、段落し部の損傷に起因した橋脚の倒壊や破壊に至る損傷が発生している。橋脚の損傷は基部損傷と段落し部損傷に大別され、どの位置が損傷するかは、耐震設計を実施する上で重要となる。現在用いられる損傷位置判定は、基部の耐力と段落し部から定着長 $1a$ 下方の耐力を比較する方法である。本研究では図-1 に示す研究フローに従い、実損傷の位置で算定した耐力を用いた判定式を提案することを目的としている。

2. 分析橋脚の抽出

ここでは、川島ら山本らの実験供試体全38基を対象に曲げ損傷した橋脚を抽出する。これらの実験は、段落し部を有する橋脚の耐力比と損傷位置に着目した実験である。実験結果を統一的に評価するため損傷形態を図-2に示すよう区分する。主として $1\delta_y$ で水平ひび割れが生じ、 $3\delta_y$ 以降もひび割れが進展して破壊に至るものを曲げ損傷と定義する。定義に基づいて曲げ損傷と判定される供試体は、川島らの実験で5基、山本らの実験で18基となっている。次章以降の損傷位置判定は、この23基を対象としている。

3. 実挙動を考慮した損傷位置判定

図-3 に作用、抵抗力モーメント図を示す。現在用いられている損傷位置の判定式は段落し部の耐力は $1a$ だけ下げた点 C での抵抗力モーメントで算定している。しかしながら、点 B で付着力が 0 となり点 C で 100% の付着抵抗力を発揮することから、付着応力を考慮したモーメントは BD を結ぶ曲線あるいは直線形状になると考えられる。図に示すように BD 曲線と AE 直線は、例えば BD 間を直線とすると一般の柱高では交わる可能性が極めて低いことから、段落し部の耐力算定にあたっては定着長を考慮する必要がないと、ここでは仮定する。このように損傷位置を実挙動に則した状態で考えた場合、耐力比(段落し部耐力/基部耐力)が 1:1.0 未満の場合は段落し部で、耐力比が 1:1.0 以上の場合は基部での損傷となる。

図-4 に以上の条件で算定した基部と段落し部の終局耐力関係を示す。耐力比に基づいて損傷位置を分析した結果、1.0 以下では想定通り全て段落し部損傷となったが、1.0 を超えるものは全てが基部損傷とはならず、5基については段落し部損傷となるものが確認されており、適切な判定となっていない。

4. 損傷位置の分析

前章では、カットオフ点と基部で算定した耐力を用いて損傷位置の判定を行った。ここでは、実損傷の位置を検証し、基部と段

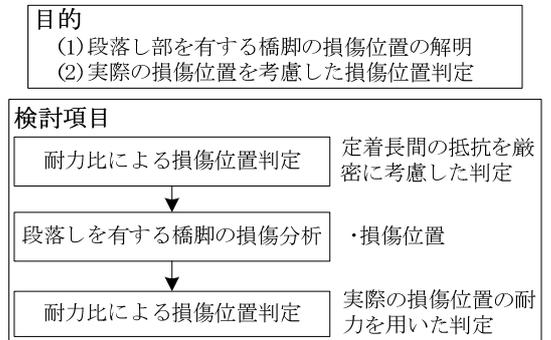


図-1 研究フロー

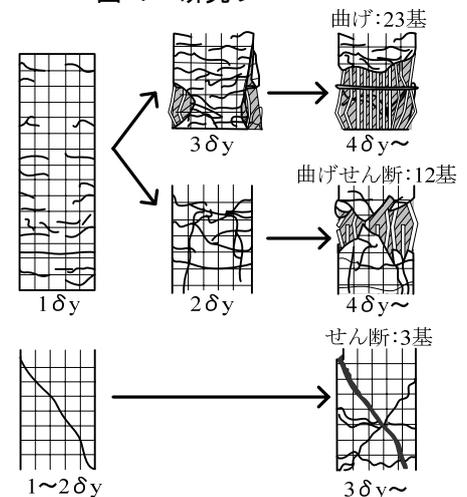


図-2 損傷形態の定義

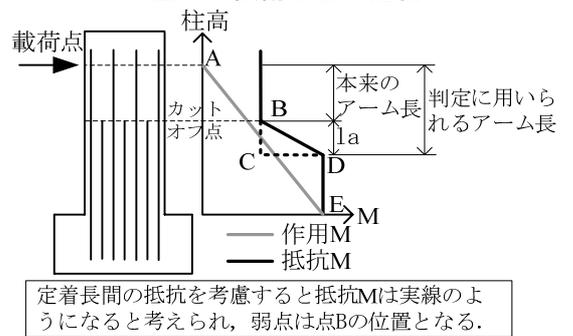


図-3 作用、抵抗力モーメント図

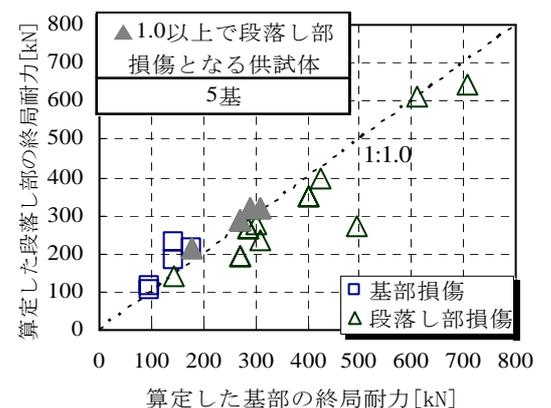


図-4 実挙動を考慮した各終局曲げ耐力

落し部の耐力算定位置の妥当性を検証する。

川島, 山本らの実験では 2 供試体について詳細な損傷状況が明らかとなっている. この 2 基に加え, 池田らの実験から 1 基と別途行われた川島らの実験から 2 基, さらに実橋の事例として新潟県中越地震で被害を受けた橋脚 2 基を加えた計 7 基を対象とし, 段落し部損傷する橋脚の損傷位置を整理する. 図-5 にカットオフ点と剥離の中心位置の関係を示す. 図より, 剥離の中心位置はカットオフ点の位置に合致していることが分かる.

次に, 川島らの実験において基部損傷する実験供試体について, 剥離の中心を損傷位置として整理する. 図-6 はその結果である. コンクリートの剥離範囲は部材断面幅程度のものが多いが, その中心点を抽出すると, $D/3$ から $D/2$ 間に分布し, 平均値は $0.4D$ となる. 段落し部を有する橋脚において基部損傷位置は平均的に $0.4D$ 柱と底部の接合部より上方であることが分かる.

5. 損傷状態を考慮した損傷位置の判定

前章の分析結果より, 基部の損傷中心は, 柱と底版の接合部ではなく, 基部より 0.2 から $0.4D$ 程度上方であることが明らかとなった. そこで, 基部の耐力算定位置は基部より $D/3$ 上方とし, 段落し部の耐力算定位置はカットオフ点とし, 再度損傷位置の判定を行う. 判定式を以下に示す.

$$k = \frac{Mu' / a}{Mu / (H - D/3)}$$

$k < 1.0$: 段落し部損傷 $k \geq 1.0$: 基部損傷

Mu' : 段落し部の終局モーメント Mu : 基部の終局モーメント

a : 載荷位置からカットオフ点までの高さ H : 橋脚高 D : 断面幅

判定式における結果を図-7 に示す. $1:1.0$ を境界に損傷位置が分かれば, 基部損傷と段落し損傷を区分できることが分かる.

次に計算上の終局耐力と実験の最大荷重に着目して分析する. 段落し部の耐力は, カットオフ点で算定した値と, 既往の損傷位置判定で使用する定着長 $1a$ を考慮した位置で算定した値の比較を行う. 結果を図-8 に示す. 耐力比の平均及び変動係数は, 前者が 1.112 及び 10.19% で, 後者が 0.788 及び 7.56% となり, カットオフ点をアーム長とする耐力の方が最大荷重との相関性が高いことが分かる.

6. まとめ

- (1) 損傷位置分析から, 段落し部損傷はカットオフ点を中心に損傷し, 基部損傷は基部より $D/3$ 上方で損傷することを明らかにした. また, 実損傷位置の耐力比により損傷位置を判定した結果, 境界値 $1:1.0$ で明瞭に分別することができた.
- (2) 最大荷重と実損傷位置の耐力を比較検証した結果, カットオフ点での耐力の方が相関性が高く, 提案した判定式を用いることで実際の作用する最大荷重を比較的精度よく評価できた.

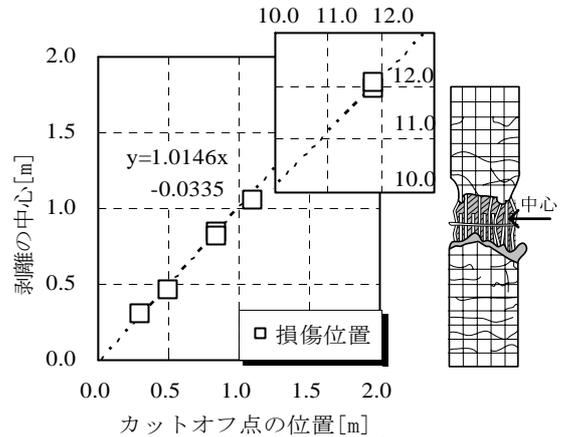


図-5 段落しを有する橋脚の段落し部損傷位置

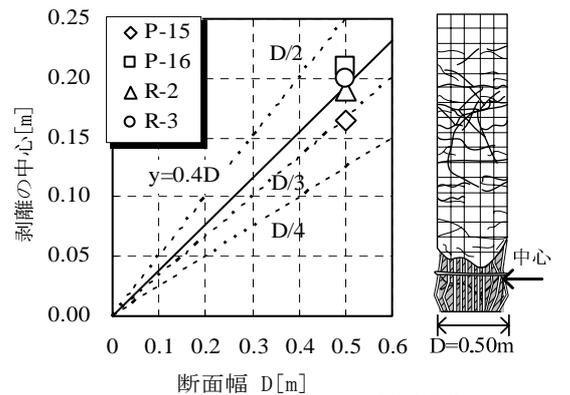


図-6 段落しを有する橋脚の基部損傷位置

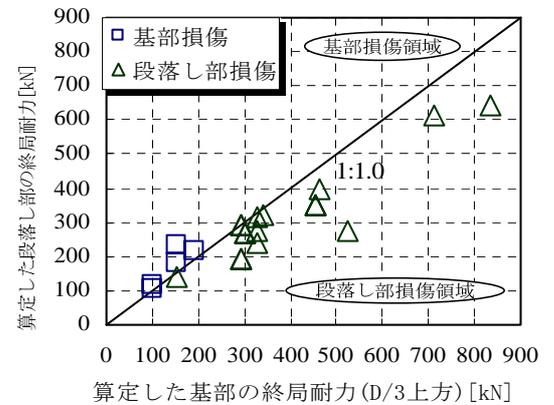


図-7 基部終局耐力 ($D/3$ 上方) と段落し部終局耐力

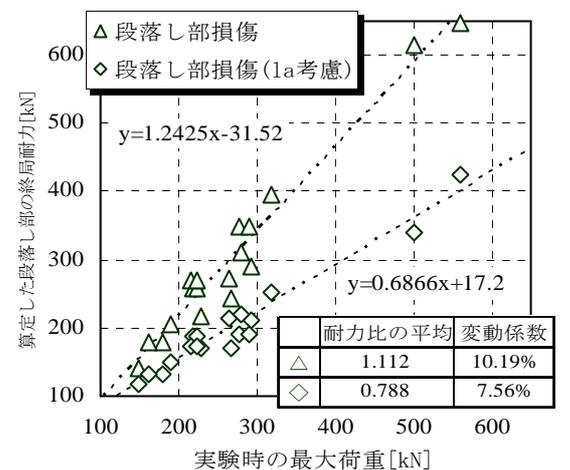


図-8 実験最大荷重と計算終局耐力