

軸方向鉄筋にSD490を用いるRC中空断面橋脚の耐震性について

1. はじめに

山間部で川や谷をまたいで建設される橋では、高さの高い橋脚が築造されることが多いですが、この場合には地震力の軽減や施工コストの低減のために自重を小さくする工夫がなされます。鉄筋コンクリート（以下「RC」という。）で橋脚を作る場合には、橋脚内部を充実しない中空断面を採用することがあります。このとき条件によっては断面積を小さくする一方で、道路橋示方書には規定のない高強度の鉄筋を用いて必要な耐震性能を満足させるような設計が検討されることがあります。しかし、道路橋示方書に規定されている照査式や構造細目などは、同示方書に規定されている材料の特性や品質を前提として定められているため、規定にない材料を用いる場合には、規定の適用方法や準用の可否などについて慎重に検討を行う必要があります。

本稿では、中空断面としたRC橋脚の軸方向鉄筋に高強度鉄筋（SD490）を用いた場合の耐震性について大規模な実験的検討を行った事例について紹介します。既設橋のメンテナンスの事例ではないものの、検討過程や得られた知見は様々な制約条件を考慮して対策することとなる補修補強の検討に対しても参考となることが多いと考えられますので、この場を借りて紹介するものです。

2. 想定する橋の条件

検討対象として想定したのは、プレストレストコンクリートラーメン橋のRC橋脚で、高さが30m～50m程度でかつ柱部を中空断面とした上で、道路橋示方書には規定のない高強度の鉄筋（SD490）を軸方向鉄筋に用いて設計を行った橋脚です。このような設計とすることで、RC橋脚躯体や基礎（深礎杭）の断面をできるだけ小さくすることを意図したものです。

3. 耐震性の検証実験

想定した橋脚は、軸方向鉄筋にSD490を用いた中空断面橋脚であることに加えて、壁厚比（断面寸法に対する圧縮フランジの壁厚の比）が0.15～0.2と小さいこと、軸応力が4～5 N/mm²と高いこと、軸方向鉄筋比が4～5%と高いことなど、既往の研究事例や道路橋示方書の規定の前提となった実験等の知見とは構造条件が異なる橋脚であるため、実験はこの点に特に着目して行われました。

実験模型は、想定される橋の構造条件をなるべく忠実にモデル化できるよう留意した設計が行われました。例えば、破壊特性に影響を及ぼすことが想定される軸応力（4.4 N/mm²）、軸方向鉄筋比（4.7%）、壁厚比（0.15）は一致させています。なお模型縮尺は載荷装置の能力をふまえ、想定される実橋の0.15倍とされました。

実験は、橋脚頂部に相当する位置に強制的に正負繰り返しの変位を与える方式で行われました。載荷では、橋脚としての弾性挙動の限界に相当する変位（以下「基準変位 δ_y 」という）の整数倍の大きさの変位を与えることとし、各大きさで3回ずつの載荷を繰り返して段階的に大きな変位が与えられました。

図-1には実験で得られた載荷点における水平力～水平変位の履歴曲線を、写真-1には最終損傷状況をそれぞれ示します。ここで水平力は各水平変位を与えるために作用させた水平方向の力です。実験では、載荷点における強制変位が基準変位 δ_y の2倍までは、一般の充実断面のRC橋脚と同様な履歴特性が得られました。その後、基準変位 δ_y の3倍の載荷を行った段階で軸方向鉄筋が破断し始め、 δ_y の4倍の載荷を繰り返している途中で圧縮側のコンクリートが圧壊して、鉛直方向の耐力が大きく失われる結果となりました。圧縮側のコンクリートの圧壊に伴って鉛直支持力が急速に失われるという損傷は、最終的には橋脚の倒壊

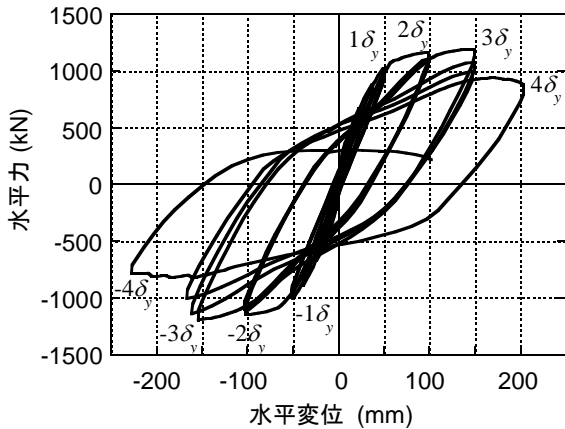


図-1 実験で得られた載荷点の水平力～水平変位の履歴

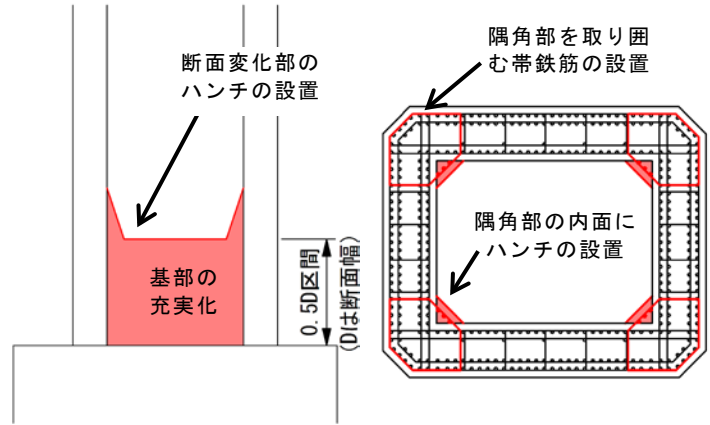


図-2 実験結果を踏まえた構造条件の変更

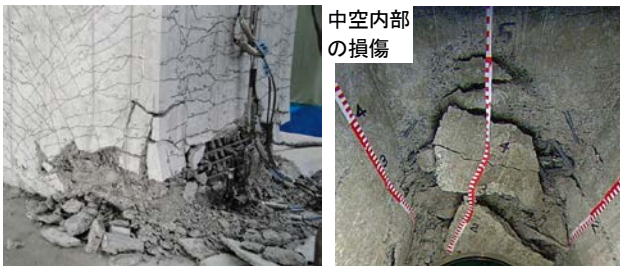


写真-1 最終損傷状況

につながるような損傷であり、これは充実断面のRC橋脚では一般には生じにくい現象です。中空断面の場合、壁になっている圧縮側コンクリートが圧壊すると断面に残される鉛直力に抵抗できる部分が急速に小さくなってしまふことが一因と考えられます。引張鉄筋比が大きい、軸方向鉄筋強度が高い等の条件により、軸方向鉄筋の負担する荷重の割合が大きくなると、コンクリートの圧壊がすすむ傾向が顕著に顕れると考えられます。

実験の結果からは、①中空断面で壁厚が薄い、②軸方向鉄筋の負担する荷重の割合が大きいなどの塑性化後の耐荷力特性の観点から厳しい条件が重なると、損傷の進行に伴ってある段階で鉛直力の支持能力が失われるという破壊形態となり、橋の耐震性能の観点からは充実断面橋脚に支持される場合とは大きな相違が生じる可能性のあることが明らかになりました。

4. 実験結果の評価

実験結果をふまえると、実際の橋における中空断面橋脚の設計では、例えば図-2に示すように、①レベル2地震動に対して設計上塑性化を考慮する部位は充実断面とする、②充実断面部から中空

断面部への断面変化部はハンチ設けて急激な断面変化が生じないようにする、③中空断面部では圧縮側コンクリートの破壊に対して鉛直支持力が急激に喪失しないよう内側の4隅全てにハンチを設けて有効断面を確保するとともに、隅角部のコンクリートと軸方向鉄筋が一体となって抵抗できるようにこれらを囲うように帯鉄筋を配置する、といった充実断面の場合とは異なる様々な配慮が必要であると考えられます。

5. おわりに

橋の設計は、理論的な妥当性を有する手法、実験等による検証がなされた手法に基づいて行うことが原則です。このため、道路橋示方書に規定されていない材料等を用いる場合には、これに基づき、個別の検証が必要となります。設計・施工に伴う様々な制約条件のために、SD390、SD490等の高い強度の鉄筋の採用が検討される場合がありますが、今回の実験では、断面を中空としてコンクリート断面積を小さくし、さらに過度に鉄筋に頼ったRC断面を設計すると、最終的な破壊形態がこれまで設計で想定している形態とは異なる方向に変わることが明らかとなりました。このように新しい材料や構造等の採用にあたっては、所要の性能が確実に得られることを慎重に検討する必要があることを改めて認識しました。

国土交通省国土技術政策総合研究所
道路研究部道路構造物管理研究室長 玉越隆史
独立行政法人土木研究所構造物メンテナンス研究センター
橋梁構造研究グループ 上席研究員 星隈順一