

高強度コンクリートを用いたボックスカルバート中柱に関する一考察

大林組 正会員 ○武田 篤史

1. はじめに

ボックスカルバートの中柱は、頂版にかかる鉛直土圧を底版に伝え、頂版および底版の断面力を低減することを目的としている。そのため、曲げ抵抗は不要である。地震時においても、ボックスカルバートが地盤変形に追随して変形するため、中柱が変形性能を持ち軸力の伝達さえできれば中柱の曲げ抵抗が無くても倒壊にいたることはない。逆に中柱を薄くすることは曲げ降伏時変形を大きくすることができるため、大地震時の損傷を小さくすることができる。使用性においても、中柱の断面を小さくすることは大きな利点となる。以上より、中柱断面を小さくし、軸力に対してはコンクリート強度を大きくすることで設計する中柱は非常に合理的な構造といえる。

本稿は、高強度コンクリートを用いたボックスカルバート中柱について、その構造的特徴を抽出し、考察を行ったものである。

2. 中柱断面の設計

地震時の曲げ抵抗に対する設計が不要であるため、断面寸法は常時の軸力に対してのみ設計すればよい。常時軸力は中柱断面の大きさによらず、カルバートの寸法によりほぼ一定である。よって、軸力およびコンクリート強度が定まれば $A^{req} = N_d / f_{ca}$ (ここに、 A^{req} : 必要断面積、 N_d : 設計軸力、 f_{ca} : 常時荷重に対するコンクリート応力度の制限値) により必要断面積が定まる。一般に f_{ca} は、コンクリートの設計基準強度 f_{ck} に比例するため、部材断面積とコンクリートの設計基準強度が反比例することとなる。通常、コンクリート強度が大きいほうが、単位強度当たり単位体積当りのコンクリート材料コストは小さいため、高強度コンクリートを用いることはコスト的にも利点があるといえる。

図-1 に示すボックスカルバートの中柱断面を上記方法により設計したときの、コンクリート設計基準強度と断面寸法の関係を表-1 に示す。断面高さは、変形性能を大きくするために、現実的な範囲での最小部材厚さとして 180mm とした。 f_{ca} はコンクリート標準示方書¹⁾に従い $0.4f_{ck}$ とした。なお、非常に薄く長い軸圧縮部材は座屈に対する検討も必要となるが、表-1 に示す範囲の断面であれば座屈しないことは別途確認している。

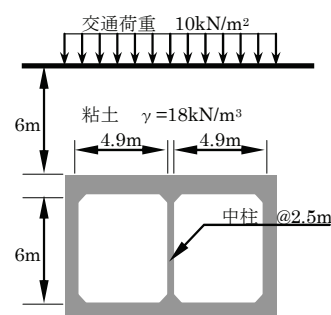


図-1 試設計対象

3. 地震時挙動

前項で設計された中柱断面のうち 120N/mm^2 のケースについて、地震時の挙動を検討するためファイバーモデル解析を行った。

(1) 解析モデル

中柱の半分を想定し、ハンチを無視した部材長 3m の片持梁型とした。非線形性は材料非線形と幾何的非線形の両者を考慮している。配筋は、柱の最小鉄筋量として、圧縮側および引張側に全コンクリート断面の 0.5% ずつの SD345 鉄筋（完全弾塑性型）を配置した。コンクリートの構成則は雨宮ら²⁾の式により最大応力時ひずみを求め ($\epsilon_{cc} = 3366\mu$)、修正 Ahmad モデル³⁾によりモデル化した。荷重は、常時軸

表-1 コンクリートの設計基準強度と中柱断面寸法

設計基準強度 f_{ck} (N/mm ²)	24	60	80	120
断面 H×D (mm×mm)	180×1000	180×400	180×300	180×200

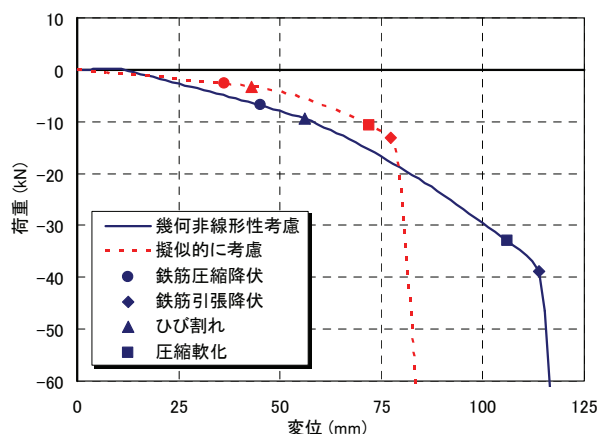


図-2 水平荷重-水平変位関係

キーワード 高強度コンクリート、幾何的非線形性、ボックスカルバート、中柱、高軸圧縮力

連絡先 〒204-8558 東京都清瀬市下清戸 4-640 (株)大林組 技術研究所 TEL042-495-0941

力 ($N_d=1725\text{kN}$) のもと水平変位を漸増した。

(2) 水平荷重－水平変位関係

図-2 の実線に水平荷重－水平変位関係を示す。

曲げ耐力が小さく軸圧縮力が大きいため、幾何的非線形の影響が強く現れ、小変形時から負剛性、負荷重となっている。荷重が負ということは、他の構造体により支えられている状態であり、静定構造物であれば崩壊であるが、ボックスカルバートの中柱は外壁および地盤が負の荷重を与えるため、全体構造上の問題とはならない。

イベントは、鉄筋圧縮降伏、ひび割れ、圧縮コンクリート軟化の順で起こり、その後鉄筋引張降伏により荷重が急落した。圧縮コンクリート軟化後は、曲率の進展に伴い、引張鉄筋の応力増加と中立軸の移動により断面剛性が正に保たれていた。しかし、鉄筋引張降伏により、引張鉄筋の応力増加とそれに伴う中立軸の移動がなくなったため、圧縮コンクリート軟化のみが進み断面剛性が負となった。結果的に部材中の変形が1箇所集中し、荷重が急落した。よって、鉄筋引張降伏より圧縮側コンクリート軟化が先行する場合は、引張鉄筋の降伏が終局限界状態である。

なお、上記終局限界の定義に基づく、本検討における終局変形角は1.9%である。地盤条件によってこの終局変形角を大きくする必要がある場合は、コンクリートの横方向拘束や軸方向鉄筋量を増加すればよい。

(3) 最大モーメント位置

鉄筋引張降伏時の、部材曲げモーメント分布を図-3 に示す。負荷重の影響（一点鎖線）は線形となるが、軸力の影響（点線）は変形と同じ形状になる。これらは向きが逆であるため、合計すると実線のようになり、最大モーメント位置は基部でなく、基部よりも上方となる。表-2 に示す各イベントが最初に発生した位置も全て基部より上方であり、負荷重が大きいほど位置が上方となっている。

(4) 幾何的非線形を擬似的に考慮する方法の検討

設計計算において、幾何的非線形を考慮できない解析ソフトを用いる場合、基部の曲げモーメントに着目して、 $P=P'-\delta \cdot N_d/a$ （ここに、 P ：荷重、 P' ：幾何的非線形を無視した解析における荷重、 δ ：変位、 a ：せん断スパン）として幾何的非線形を擬似的に考慮する方法が考えられる。

図-2 に、幾何的非線形を擬似的に考慮した場合の水平荷重－水平変位関係を点線で示す。擬似的に考慮した場合は、曲線形状が異なるとともに、各イベント発生時の変形は小さくなり荷重は大きくなることわかる。幾何非線形を考慮した場合と同一の荷重に対する曲げモーメント分布を図-3 の二点鎖線に示すが、基部におけるモーメントは合致するものの、部材中の曲げモーメント分布が大きく異なっていることが原因である。

4. まとめ

ボックスカルバートの中柱について、高強度コンクリートを用いて断面を小さくすることの合理性を示し、その挙動をファイバーモデル解析より考察した。その結果、以下のことがわかった。

- 1) 幾何的非線形の影響は大きく、その影響を適切にモデル化する必要がある。
- 2) 部材単体では小さな変形で負剛性・負せん断力となるが、全体構造の中では問題とならない。
- 3) 圧縮コンクリート軟化後の引張鉄筋降伏は終局限界状態である。
- 4) 負荷重が大きくなると、最大曲げモーメント位置は基部より上方となる。

参考文献 1) 土木学会：コンクリート標準示方書 設計編、2007. 12. 2) 雨宮、野口：超高強度鉄筋コンクリート部材の有限要素解析プログラムの開発（その1）、日本建築学会大会学術講演梗概集、構造 II、pp. 639-640、1990. 10. 3) 長沼：三軸圧縮下のコンクリートの応力～ひずみ関係、日本建築学会構造系論文集、第 474 号、pp. 163-170、1995. 8.

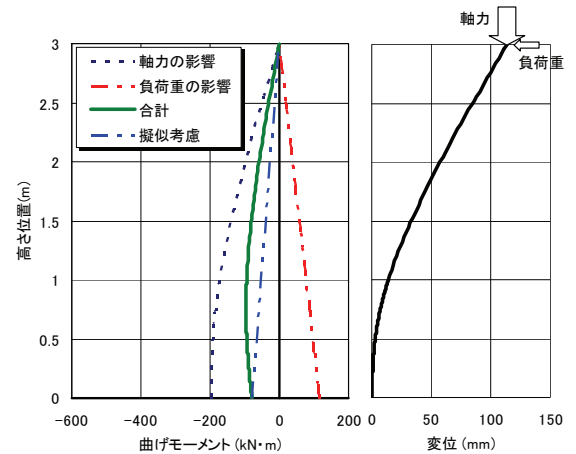


図-3 変形図と曲げモーメント図
(鉄筋引張降伏時)

表-2 イベントの発生位置

鉄筋圧縮降伏	360
ひび割れ	390
圧縮軟化	705
鉄筋引張降伏	725

(基部からの高さ、mm)