

水平材の機能を有効に活用した RC 主塔の設計例

株式会社 長大 正会員 ○黒木 唯真
株式会社 長大 織田 敏彰

株式会社 長大 正会員 田中 剛
愛媛県 河本 卓朗

1. はじめに

岩城橋は、図-1、2に示すように愛媛県上島町の生名島と岩城島を結ぶ、中央径間 475m、橋長 735m の 5 径間連続鋼・コンクリート混合斜張橋である。本稿では、高さ 130m を超える巨大な RC 主塔に対して、大規模地震時にも離島間を結ぶ重要なライフラインとしての機能を確保しながら、経済性に優れる合理的な計画・設計を行う手法として、水平材を活用した一例を紹介する。

2. 主塔水平材の役割

主塔は、上部と中間部に水平材を 2 段配置した 2 柱式の RC 構造を採用している。大規模な構造であるため、地震後の復旧性から主塔本体の残留変形は許容できず、一方で、大規模地震力に対して全部材が弾性域を超えない設計を行うと建設コストが増大する。そこで、常時では断面力は発生せず、地震時にのみ機能を期待する水平材に着目した。水平材は、長い 2 本の柱の個別振動を制御する役割があるが、軽微な損傷を許容することで主塔柱の発生断面力を抑制する部材としても期待し、合理的で建設コストを抑えた計画・設計を行った。以降に水平材の機能を保障するための検証方法を示す。

3. 水平材への要求を確実に機能させるための検証

3.1 材料諸元の変動範囲

大規模地震力に対して水平材が効果を発揮するには、確実に水平材が他の部材よりも先行して軽微な損傷を受ける必要がある。一般に、水平材にのみ損傷を許容することを設計計算で検証する場合、各部材に与える材料諸元は基

準書による材料強度に応じた値を用いるが、本橋では、設計で想定した性能を実構造で確実に実現する手段として、施工時に供給される材料と設計基準上の材料との違い(材料のばらつき)を評価し、水平材の要求性能を確実に発揮させるための材料諸元の許容変動範囲を求めて設計を行った。

コンクリートは、設計基準強度以下にはならないことを前提に、近傍の同種橋梁での受け入れ時の強度分布を利用し、水平材に用いた通常の設計基準強度 $\sigma_{ck}=30\text{N/mm}^2$ から、強度増加を見込んだ平均値+1 σ の $\sigma_{ck}=47.7\text{N/mm}^2$ を上限とした。鉄筋は工場製品のため JIS 規定の諸元内で制限可能と考え、使用する SD490 の降伏点 $\sigma_y=490\sim 625\text{N/mm}^2$ とし、さらに製造工場への品質管理に関するヒアリングにより、実状は $\sigma_y=500\sim 560\text{N/mm}^2$ 程度であることを確認した。なお、材料のばらつきは水平材のみで考慮し、ばらつきの下限および上限値での検証を基本としている。

3.2 水平材の破壊形態

水平材が確実に機能するためには、常に水平材の破壊形態が曲げ破壊型となる必要がある。そこで、表-1 に示すように、水平材の材料諸元が変化した場合を想定

表-1 水平材の破壊形態の算定

材料		設計基準値	σ_y JIS 上限	σ_y 600N/mm ²	σ_y とアング上限 S _c 負担10%
		N/mm ²	30	30	30
コンクリート	N/mm ²	490	625	600	560
主鉄筋	N/mm ²	490	625	600	560
曲げ耐力	kN	34,000	43,400	41,600	38,900
せん断耐力	kN	42,650	42,650	42,650	39,005
鉄筋負担(S _c)	kN	38,600	38,600	38,600	38,600
コンクリート負担(S _c)	kN	4,050	4,050	4,050	405
最大せん断応答値	kN	39,000	39,000	39,000	39,000
破壊形態		曲げ	せん断	曲げ	曲げ

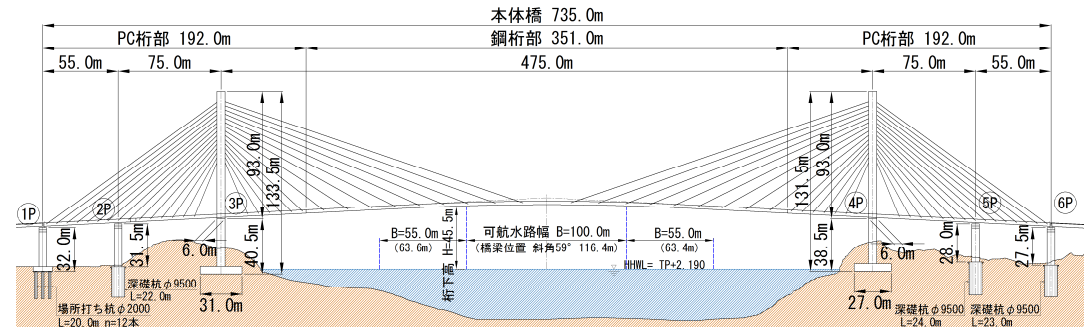


図-1 側面図

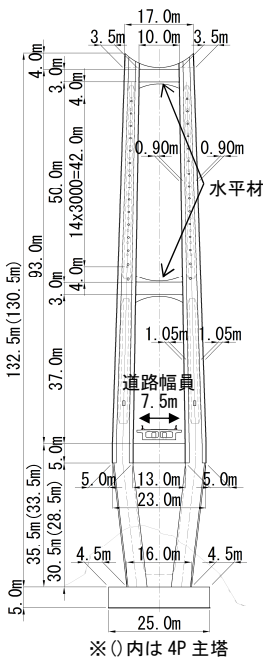


図-2 主塔正面図

キーワード 斜張橋, RC 主塔, FEM 解析, 合理的設計手法, 耐震設計

連絡先 〒550-0013 大阪市西区新町 2 丁目 20-6 TEL 06-6541-5795 FAX 06-6541-5486

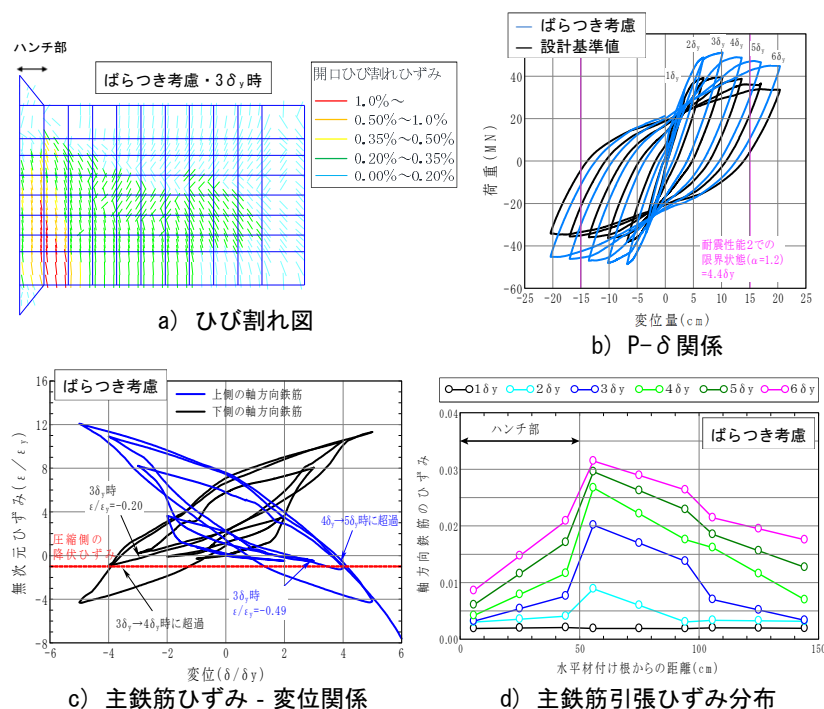


図-3 水平材のFEM解析結果

し、水平材が曲げ破壊型であるための制限値を求めた。

主鉄筋の降伏点が JIS 上限値 $\sigma_y=625\text{N/mm}^2$ ではせん断破壊型となるが、 $\sigma_y=600\text{N/mm}^2$ であれば曲げ破壊型となり、ヒアリング上限値 $\sigma_y=560\text{N/mm}^2$ では、コンクリートが負担するせん断耐力を 1 割まで低減させても曲げ破壊型となることが確認できた。また、次項で示す許容塑性率の設定とあわせて行ったコンクリートのひび割れによる剛性変化を考慮できる FEM 解析(WCOMD)のひび割れ形態からも破壊形態を想定した。図-3a)に示すように、ばらつきを考慮した $\sigma_{ck}=47.7\text{N/mm}^2$ 、 $\sigma_y=625\text{N/mm}^2$ の場合でも、せん断ひび割れの進展は小さく、曲げ破壊型であることを確認した。

3.3 水平材の許容塑性率の設定

上記の通り、水平材の繰返し载荷を想定した FEM 解析を行い、許容塑性率を設定した。図-3b)に示す P-δ 関係より、水平材は材料諸元に関わらず、塑性率 $\mu=3$ で最大耐力を示し、その後の急激な耐力低下はみられなかった。図-3c)には、繰返し载荷時の変位と主鉄筋ひずみの関係を示すが、 $\mu=3$ までは圧縮鉄筋のひずみは降伏以下となり、主鉄筋の座屈によるかぶりコンクリート剥落の可能性は低く、地震後はひび割れ補修程度で対応可能と考えた。また、主塔柱と水平材の接合部にハンチを設けることで、図-3d)に示すように、主塔内に定着した水平材主鉄筋のひずみは大きく進展せず、水平材の塑性化が接合部に与える影響は小さいと判断できる。

以上から、水平材の許容塑性率は $\mu=3$ とした。

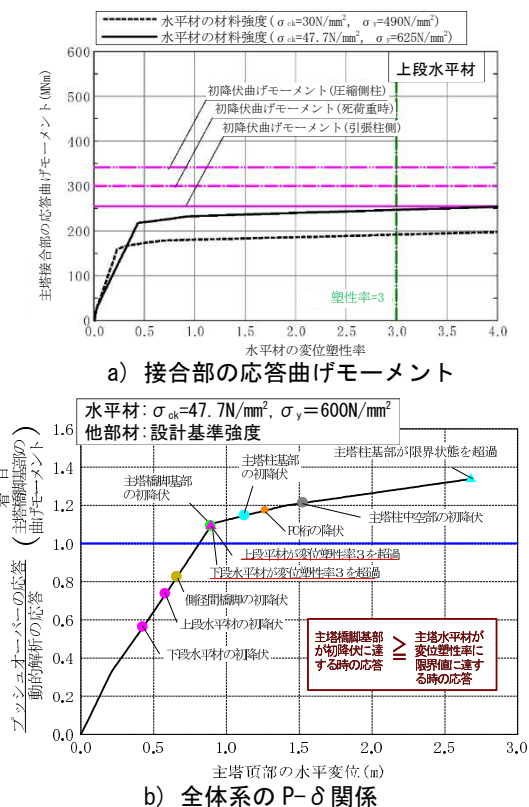


図-4 全体系のプッシュオーバー解析結果

4. 全体解析による水平材の降伏検証

以上の結果を踏まえ、主塔全体を非線形梁でモデル化したプッシュオーバー解析を行った。解析にあたっては、水平材に用いる材料諸元の値を変化させ、水平材以外の部材は設計基準値で固定した。荷重载荷方法は、非線形動的解析における発生断面力分布と整合が図れるように荷重強度を調整した一方向荷重とした。

結果を図-4に示す。図-4a)より、主塔柱と水平材の接合部に発生する曲げモーメントは、水平材の塑性率 $\mu=3$ 時でも主塔の降伏曲げモーメント以下であり、水平材の損傷を許容した場合でも主塔柱側に与える影響は小さいといえる。また、図-4b)に示すように、 $\sigma_{ck}=47.7\text{N/mm}^2$ でも、水平材の主鉄筋が $\sigma_y=600\text{N/mm}^2$ 以下の場合、水平材が $\mu=3$ となる状態においても、他の部材に降伏が生じないことが確認できた。

5. まとめ

大規模 RC 主塔を経済性の面から合理的に設計する手段として、水平材を地震力抑制部材として活用した設計を行い、その実現性を材料諸元のばらつきを考慮して数値解析的に検証した。設計段階で検証した材料諸元の制限値を施工時の受け入れ制限(今回は $\sigma_y \leq 600\text{N/mm}^2$)とすることで、計画・設計と現場の実構造との差異の解消となると考えた。本稿が今後の大規模構造に対する確実性の一助となれば幸いである。