

(154) PC ランガー橋アーチ部材の面外座屈挙動に関する研究

東日本旅客鉄道株式会社 建設工事事部 構造技術センター 正会員 ○ 海原 卓也
 東日本旅客鉄道株式会社 建設工事事部 構造技術センター 正会員 小林 薫

1. はじめに

鉄道の高架化事業において、道路上空を鉄道橋が横断するような立体交差部では、線路の縦断計画と道路の建築限界から下路桁形式で計画される場合が多い。この場合、通常の PC 下路桁では、橋梁前後の高欄高さより主桁が飛び出すこととなり、道路上空に大きな壁ができてしまう。このような場合、周辺環境への調和や景観等を考慮して、下路桁形状とした補剛桁にアーチ部材を取付けた PC ランガー橋¹⁾(図1)を採用することがある。

PC ランガー橋は、アーチ部材のライズ比や補剛桁の剛性によって、補剛桁とアーチ部材で負担する荷重割合を任意に設定できることや、景観設計上からも周辺環境への適用範囲が広い構造形式である。

今回、コストと景観の両面から、アーチ部材のライズ高さを一般的に用いられる下路桁の桁高程度となるように、低ライズの PC ランガー橋を検討した。

PC ランガー橋の設計は、微小変形理論を適用した平面あるいは立体解析モデルによる骨組解析から行われる場合が多い。特に、アーチ部材の面外方向の設計では、部材の細長比が 35 を超える場合において長柱²⁾に準じて行われ、アーチ部材の横方向変位による 2 次モーメントの影響は既往の研究³⁾による近似解法を適用する場合がある。

しかし、今回計画した低ライズの PC ランガー橋では、アーチ部材のクラウン部に横梁を設けると建築限界に支障するので、主桁毎に独立したアーチ構造となっている。このため、このような構造でのアーチ部材の面外座屈挙動を明確にする必要があった。

本文では、低ライズの PC ランガー橋における横梁がないアーチ部材の面外方向の座屈安定性について、主にアーチ部材のライズ比が面外方向の座屈挙動に与える影響を、材料非線形性と幾何学的非線形性を考慮した荷重増分法による静的弾塑性解析から検討したので、その結果について報告する。

2. 静的弾塑性解析の概要

2.1 検討対象橋梁の概要

検討の対象とした橋梁は、鉄道が道路上空を跨ぐ立体交差や、一般河川に比較的多く用いられるスパン 40m 程度の橋梁を選定した。図1に検討対象橋梁の一般図を示す。

本橋梁はスパンが 40.2m、補剛桁が U 型断面をした PC 下路桁形式で、補剛桁の桁高は 1.5m の単純桁である。

補剛桁下面からアーチ上面までの高さは、通常の PC 下路桁とした場合の桁高スパン比 (1/10~1/14 程度) を考慮して設定しており、その結果、本ランガー橋でのアーチライズは 2.55m に決定した。このときのライズ比 (アーチライズ/スパン) は 1/15.6 である。

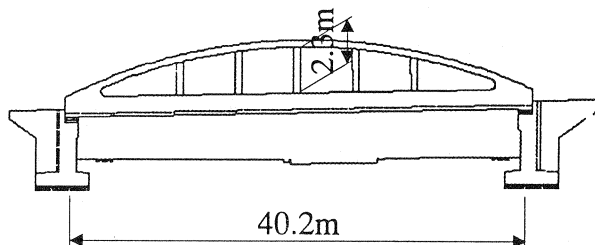


図1 PC ランガー橋りょう一般図

2.2 解析モデルの概要

本検討では、PC ランガー橋アーチ部材の面外方向の変形に着目した静的弾塑性解析を行っている。解析

モデルは図2に示すような立体骨組みモデルとし、パラメータとしてはライズ比を1/15.6、1/10に設定して解析している。ここでライズ比1/10の解析モデルは、ライズ比1/15.6の結果と比較するために設定したものである。

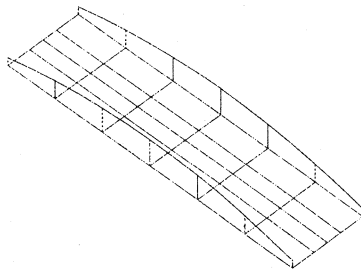


図2 解析モデル(ライズ比1/15.6)

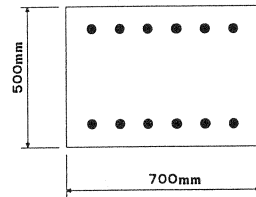


図3 アーチ部材配筋図

アーチ部材の材料非線形性を考慮するために設定した断面寸法および配筋状態を図3に示す。アーチ部材の断面寸法および鉄筋量は、ライズ比1/15.6と設定したモデルにおいて、参考文献[2]に準拠して概略設計を行い決定した。

アーチ部材は軸方向圧縮力が卓越する部材となるため、材料非線形モデル(力学特性)の設定では軸方向力と曲げモーメントの相関(M-N interaction)を考慮し、スケルトンカーブはトリリニア型として設定した。

なお本検討では、アーチ部材の面外座屈挙動に関するパラメータとしてライズ比に着目していることから、各解析モデルで補剛桁の剛性および桁高等は同じとしている。

2. 3 荷重載荷方法

本解析では、まず部材の自重および版上荷重(バラスト・軌きょう・ダクト等)分を初期応力状態として与えたのち、最大50tf/mを上限とした等分布荷重を荷重増分ステップ毎に分割して載荷した。増分荷重は、列車荷重および衝撃荷重を想定したもので、補剛桁の軌道位置に載荷している。なお、設計上の列車荷重+衝撃荷重で発生する断面力と等値な換算等分布荷重は、約7.9tf/mである。

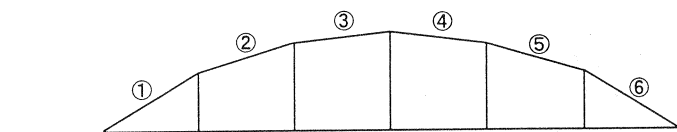
3. 静的弾塑性解析結果

3. 1 ライズ比を1/15.6とした場合のアーチ部材の挙動

(1) 全体系での挙動

図4に、解析結果として、各アーチ部材が面外力に対して降伏に達したときの増分荷重を示す。なお、図中に示す数字はアーチ部材の部材番号を表したものである。

アーチ部材の面外方向の降伏順序は、まず中央部にある2本の部材(③、④)が降伏し、次にこれの外側にある部材(②、⑤)が降伏して、両端部のアーチ部材(①、⑥)は最も遅く降伏に達している。各アーチ部材が面外方向に降伏した時の増分荷重は、最初に降伏した③、④部材では約10.0tf/m、次に降伏した②、⑤部材では約12.5tf/m、最後に降伏した①、⑥部材では約17.5tf/mであった。参考値として、このときの増分荷重を列車荷重+衝撃荷重で除して求めた荷重係数は、それぞれ1.3、1.6、2.2となる。



降伏時 増分荷重	17.5tf/m (2.2)	12.5tf/m (1.6)	10tf/m (1.3)	10tf/m (1.3)	12.5tf/m (1.6)	17.5tf/m (2.2)
-------------	-------------------	-------------------	-----------------	-----------------	-------------------	-------------------

()内の数値は、増分荷重を(列車荷重+衝撃荷重)で除した場合の荷重係数

図4 アーチ部材の面外降伏挙動(1/15.6)

(2) 部材系での挙動

図5は、最も早く降伏したアーチ部材(図4中の③)における軸力と面外方向曲げモーメントの相関図を

示したものである。なお、図中には部材の降伏曲線も併せて示している。

アーチ部材の挙動は、面外曲げモーメントに比べて軸圧縮力が卓越する状態を示しており、降伏時におけるそれぞれの断面力は、軸力が約 1180tf、面外の曲げモーメントが約 2.0tf・m となっている。

次に今回使用した解析モデルにおいて、アーチ部材を弾性とし、幾何学的非線形性を考慮しない場合、およびアーチ部材を弾性とし、幾何学的非線形性を考慮した場合の2パターンについて同様な解析を行った。解析結果を図5中に併せて示す。

図5からは、材料非線形および幾何学的非線形性を考慮したモデルにおいて、③アーチ部材が面外方向に降伏したときの荷重ステップと同一のステップを表示している。この結果より、幾何学的非線形性の影響、つまり2次モーメントの影響が明らかであり、アーチを弾性部材としても、鉛直部材間の変位差によりアーチ部材に生じる面外方向の曲げモーメントは、ほとんどが2次モーメントの影響により発生していた。

最後に、増分荷重と③アーチ部材の面外方向変位との荷重変位曲線を図6に示す。図6からは、増分荷重が 18tf/m 程度に達した時点で、急激に面外方向の変位が伸びていることが分かる。ここで、急激に変位が伸びている点をアーチ部材の座屈と定義すると、すべてのアーチ部材が降伏するときの増分荷重が約 17.5tf/m であったので、全アーチ部材が面外方向に降伏してもすぐには座屈せずに、座屈に至るまでには若干の余裕があるものと推察される。

3. 2 ライズ比を 1/10 とした場合のアーチ部材の挙動

(1) 全体系での挙動

前節と同様に、各アーチ部材が面外力に対して降伏に達したときの増分荷重を図7に示す。図中に示す数字はアーチ部材の部材番号を表したものである。

アーチ部材の面外方向の降伏順序は、中央部にある2本の部材(③、④)およびこれの外側にある部材(②、⑤)がほぼ同時に降伏に達し、両端部のアーチ部材(①、⑥)が最後に降伏する結果となった。これらのときの増分荷重は、②、③、④、⑤部材では約 18.5tf/m であり、①、⑥部材では約 21.0tf/m となった。また、このときの増分荷重を列車荷重+衝撃荷重として計算した場合の荷重係数は、それぞれ 2.3 および 2.7 となる。

降伏時	21.0tf/m	18.5tf/m	18.5tf/m	18.5tf/m	18.5tf/m	21.0tf/m
増分荷重	(2.7)	(2.3)	(2.3)	(2.3)	(2.3)	(2.7)

()内の数値は、増分荷重を(列車荷重+衝撃荷重)で除した場合の荷重係数

図7 アーチ部材面外降伏挙動 (1/10)

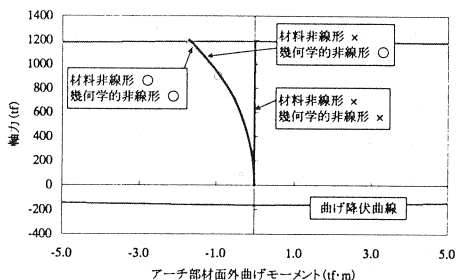


図5 アーチ部材面外方向 MN 相関図 (③部材)

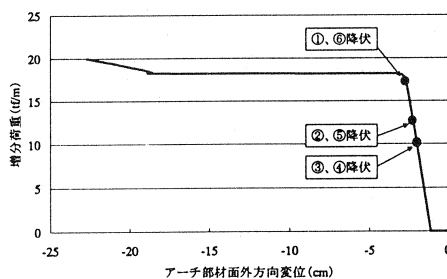
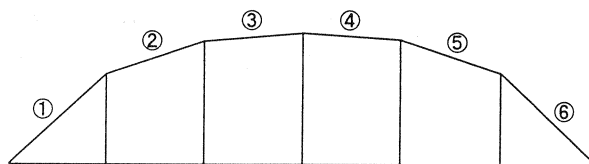


図6 荷重変位曲線 (③部材)



(2) 部材系での挙動

図8に、最初に降伏したアーチ部材(図7中の⑤)における軸力と面外方向曲げモーメントの相関図を示す。ライズ比を1/15.6としたモデルと同様に軸圧縮力が卓越した状態を示しており、降伏時における断面力は、軸力が約1180tf、面外方向曲げモーメントが約3.0tf・mとなっている。

次に、増分荷重とNo5アーチ部材の面外方向変位との荷重変位曲線を図9に示す。前節と同様に、面外方向の水平変位が急激に伸び始める点を部材の座屈と定義すると、すべてのアーチ部材が降伏するときの増分荷重(約21.0tf/m)に対する、座屈発生時の増分荷重(約27.0tf/m)の余裕量は約6.0tf/mであり、ライズ比を1/15.6としたモデルと比較して、余裕量が若干大きくなる傾向を示した。

4. まとめ

今回、低ライズでかつ横梁が無いPCランガー橋アーチ部材の面外方向の挙動について、荷重増分法による静的弾塑性解析を行った。本解析結果を以下にまとめる。

(1) ライズ比を1/15.6とした場合、アーチ部材の面外方向の挙動は、まず中央部にあるアーチ部材が降伏してから外側のアーチ部材が降伏し、両端部のアーチ部材は最後に降伏する。

(2) 幾何学的非線形性を考慮したモデルと考慮しないモデルとの比較により、幾何学的非線形性を考慮する影響、つまり鉛直部材間の変位差によりアーチに生じる面外方向の曲げモーメントは、ほとんどが2次モーメントの影響によるものである。

(3) アーチ部材の面外座屈の発生は、全アーチ部材が面外方向に降伏したときの載荷荷重から、増分荷重とアーチ部材面外方向の変位で示される荷重変位曲線で定義した、面外座屈が発生する載荷荷重に達するまでは、ライズ比を1/15.6としたモデルでは約0.5tf/mの余裕があり、ライズ比を1/10としたモデルでは約6.0tf/mの余裕があった。

【参考文献】

- 1) 小林・中山：武蔵五日市線PCランガー橋の設計と施工、プレストレストコンクリート、Vol. 38, No. 5, 1996
- 2) 運輸省鉄道局監修・鉄道総合技術研究所編：鉄道構造物等設計標準・同解説(コンクリート構造物)平成4年10月
- 3) 堺・角田・能町：鉄筋コンクリート長柱の設計、土木学会論文報告集、第340号、pp.165-174、1993.12

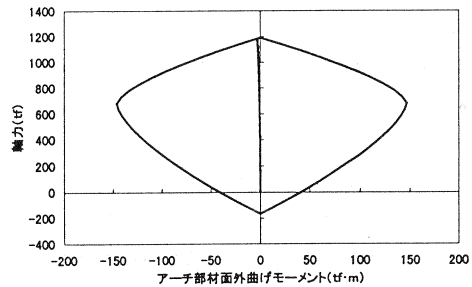


図8 アーチ部材面外方向MN相関図(⑦部材)

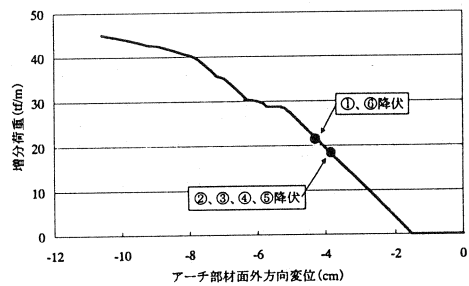


図9 荷重変位曲線(⑦部材)