

懸垂型モノレール用剛結式軌道桁の解析手法（その2）

三菱重工業（株）＊ 正会員 ○土生修二 夏目晶子 （有）ハンダイシステムリサーチ 正会員 大坂憲司

1. はじめに

懸垂型モノレールの軌道桁は開断面BOXで多くは曲線桁であるため(写真1, 図1)、断面設計において曲げ振りの影響を無視できない。骨組み解析に曲げ振り定数 I_w や支点の曲げ振り拘束を適切に設定しないと、解析結果に相当の誤差を生じることを昨年報告した⁽¹⁾。

今回耐震性向上などを目的とした軌道桁と鋼支柱の剛結構造について、立体骨組みを用いて解析する際の剛結部のモデル化と曲げ振りの関係に着目した。またモノレール車両が軌道桁から懸垂されていることが、軌道桁の振動に及ぼす影響について調べた。立体曲線桁モデルを用い、剛結部の結合条件に着目した静解析結果及び軌道桁と車両の連成振動を考慮した固有振動解析結果を報告する。



写真1 懸垂型モノレール（千葉市）

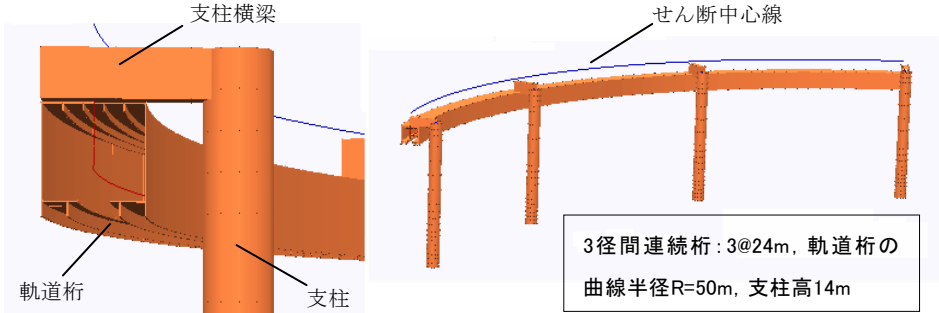


図1 軌道桁断面と曲線桁モデル(3D骨組みレンダリング表示による)

2. 解析モデルと剛結部の設定

解析した骨組みモデルは図2に示すもので、荷重には活荷重だけを載荷した。軌道桁と支柱の断面定数及び端支点条件（単純支持）は全て同一とし、中間支点の結合条件と荷重載荷位置によりケースが分かれている。中間支点の結合は(1)単純支持(M_y 回転自由)、(2)完全剛結、(3)支柱横梁分の桁振り補剛(3. の図7参照)の3種類を考慮した。解析ケースのまとめを表1に示す。

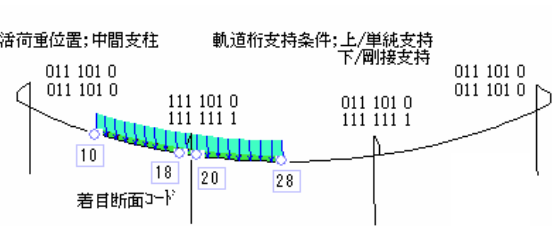


図2 骨組みモデルと活荷重載荷図

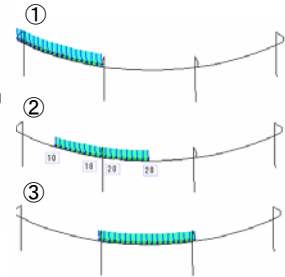


図3 活荷重位置3ケース

表1 解析ケースのまとめ

活荷重位置	支点条件		
	単純支持	剛結支持	振り補剛
①端径間	CASE11	CASE12	CASE13
②中間支点付近	CASE21	CASE22	CASE23
③中央径間	CASE31	CASE32	CASE33

・支点条件は中間支点のもの(端支点は全て同一)
・桁の振り補剛については3. を参照

3. 静解析結果と評価

静解析の結果を図4～6に示す。鉛直面内曲げモーメント M_y を線図で、曲げ振りモーメント M_w を着色図で表している。端径間載荷(図4)、中間支点付近載荷(図5)、及び中央径間載荷(図6)のいずれの場合においても、 M_y の分布を見ると中間支点条件の違いによる差異は小さい。これは中間支点の結合が、支柱及び支柱横梁が変形しやすいことにより、 M_y 全体を変えるほどの拘束になっていないことを表している。

一方 M_w は荷重位置に関わらず、剛結支持の場合中央径間が小さくなり、桁振り補剛では中間支点上が小さく、端径間が大きくなっている。これは開断面の軌道桁を閉断面の支柱横梁で拘束することが、 M_w に対しては大きな影響を及ぼすこと、特に桁の上部に取り付く横梁(80cm幅)による振り補剛が無視できないことを示している。

キーワード：モノレール軌道桁，剛結構造，開断面箱桁，曲げ振り，振りモーメント，固有振動数
連絡先＊：〒231-8715 横浜市中区錦町12 横浜製作所 鉄構装置部 TEL：045-629-1416 FAX：045-629-1363

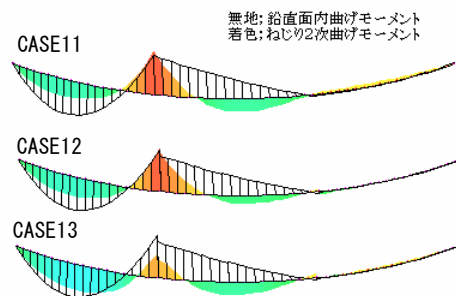


図4 端径間载荷

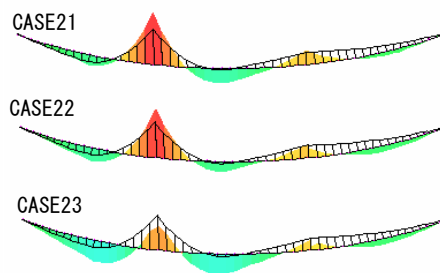


図5 中間支点付近载荷

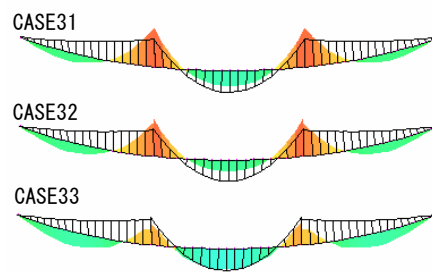


図6 中央径間载荷

ここで桁の振り補剛について整理する。中間支点の剛結部は、図1に示したように開断面の軌道桁の上に閉断面の横梁が結合された構造となる。この軌道桁中間支点部の振り補剛を骨組みモデル化する際のイメージが図7である。軌道桁の横梁幅分が補剛され(図7の斜線部)、特に純振り定数が大幅にアップする。このような桁の一部の振り補剛が、 M_w の分布に予想外に大きな影響を与えていることが分かる。

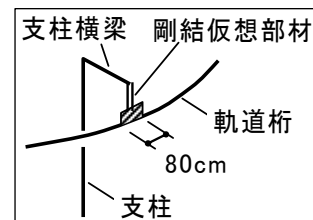


図7 中間支点結合部のモデル化

4. 懸垂車両を考慮した振動解析結果

昨年の報告では、支点拘束を回転自由にすると曲げ振りの影響で固有振動数が7割程度になるケースがあることを報告したが、今回は車両荷重(活荷重)の懸垂を考慮した解析を行った。車両の質量が軌道桁質量の1.5倍あり、かつ懸垂されていて車両と軌道桁の振動が連成すると推定されるためである。

解析結果のモード図のサンプルを図8, 9に、固有振動数を表2に示す。車両質量を軌道桁に加算したモデル1と懸垂させたモデル2で固有振動数がほぼ同じ結果となった。これは車両の揺れが軌道桁を制振している可能性が考えられるが、車両位置や径間長などにも関係するので、今後パラメトリックに解析して評価する予定である。

表2 車両懸垂モデルと固有振動数結果

モデル		1次	2次	3次
1	車両質量を桁質量に加算	1.48	1.87	2.27
2	車両質量を懸垂し接続にバネを考慮	1.50	1.90	2.28
3	桁の $I_w=0$ とし、車両モデルは2と同じ	1.14	1.23	1.44

・固有振動解析に使用した骨組みモデルは静解析の剛結支持と同一で、質量は軌道桁が14kN/m、車両が21kN/mである。

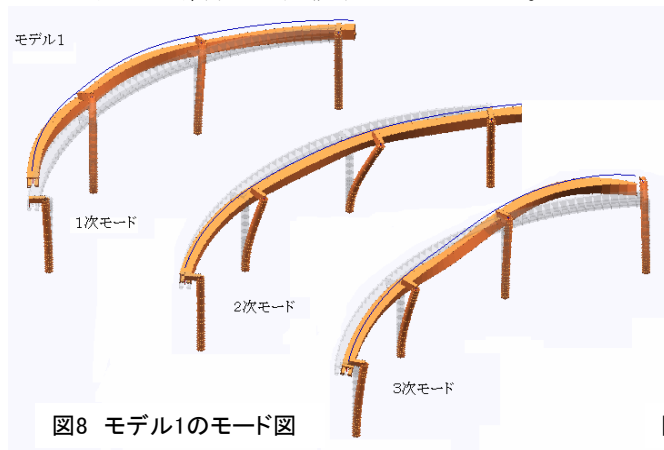


図8 モデル1のモード図

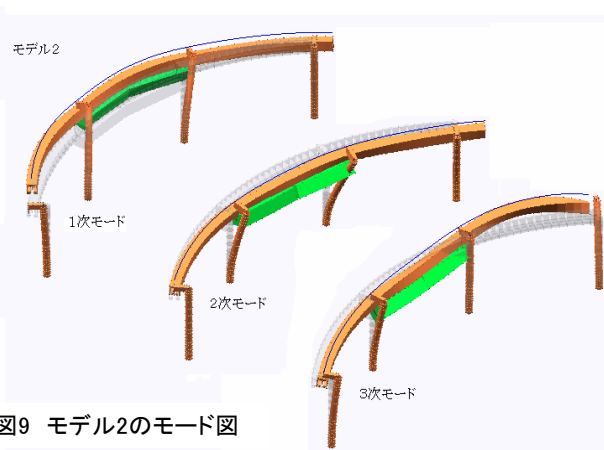


図9 モデル2のモード図

5. まとめ

昨年の報告において、支点拘束条件が桁の曲げ振りモーメント M_w に大きな影響を及ぼすことを明らかにしたが、昨年のモデルは支点条件が完全固定であったため、今回は実際の支柱が有する剛性を考慮した立体モデルを用いて解析した。その結果、支柱や支柱横梁の剛性が小さいため、桁の曲げモーメント M_y に与える影響は小さいものの、 M_w には有意な影響があること、特に桁に取り付く横梁部分の補剛の影響が無視できないことが分かった。桁の断面設計において M_w による垂直応力度は、曲線桁の場合相当の割合を占めるので、 M_w を適正に評価することが開断面桁の設計にとって重要である。

今後は今回の成果を土台に弾塑性解析に拡張して、曲げ振りを考慮した全体動的解析、特に桁と車両との連成挙動を評価できるところまで開発・解析を進めていく計画である。

参考文献：(1) 土生、夏目、大坂、懸垂型モノレール用剛結式軌道桁の解析手法 土木学会第62回年講1-579, 平成19年9月