

地震時車両走行性に影響を与える構造諸元の検討

Examination of structure specifications to affect seismic train running safety



伊東 佑香*



小林 薫*



平林 雅也**

To evaluate train-running safety during seismicity, we pay our attention structure specifications. We investigate structure specifications of Tohoku-Shinkansen to make structure models. Changing several parameters of those models, we identify structure specifications influenced train-running safety. As results of those examinations, specification of Upper structure have influence for gap deformation and specification of lower structure have influence for rotation.

●キーワード：車両走行安全性、振動変位、不同変位、支承

1. はじめに

2004年の新潟県中越地震、2011年の東北地方太平洋沖地震での新幹線脱線を受け、フロンティアサービス研究所では地震時の車両走行性について研究を行っている¹⁾。

地震動は、図1のように高架橋等の土木構造物を介して増幅され、車両へ伝わる。そのため、地震時の車両走行安全性は土木構造物の影響を大きく受けると考えられる。そこで、地震時の車両走行安全性を定量化するため、脱線しやすい構造物の同定を目的とした基礎研究を行ったので、その結果を報告する。

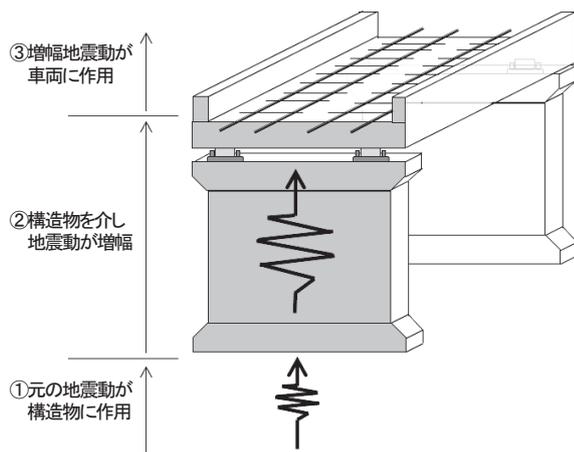


図1 車両走行安全性に関する地震動の増幅イメージ

2. 地震時車両走行安全性評価

地震時の車両走行安全性を確保するため、土木構造物は、鉄道構造物等設計標準(変位制限)²⁾に基づき設計される。設計時の照査項目は、構造物の設計耐用期間内に数回程度発生する確率を有する地震動に対して、横方向の振動変位(以降、振動変位)および軌道面の不同変位(以

降、不同変位)を設計限界値以内にするのである。本研究においても、振動変位および不同変位を指標として検討を行ったため、まずこれらの変位について説明する。

2.1 振動変位

振動変位は、図2のように特定の構造物に着目し、その加速度応答を求めることで算定される。

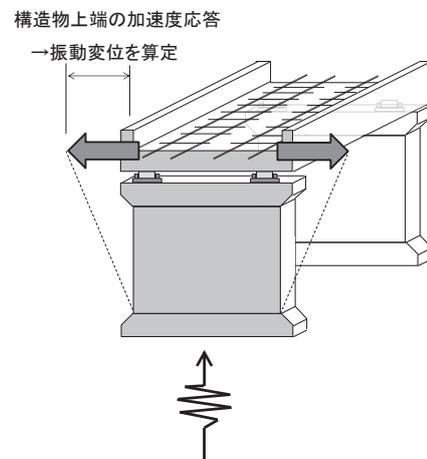


図2 振動変位の概要

具体的には、構造物上端での加速度応答波に対する速度応答スペクトルを求め、その応答速度の周期成分を積分して求めたスペクトル強度が設計時の照査項目となる。

振動変位は、個々の構造物の揺れやすさを照査するものである。

2.2 不同変位

特定の構造物に着目する振動変位に対し、不同変位は構造物境界に生じる「ずれ」を照査するものである。この不同変位は、さらに角折れと目違いに分けられる。

2.2.1 角折れ

角折れは、図3に示すように隣接する構造物間の回転の程度を表すものである。

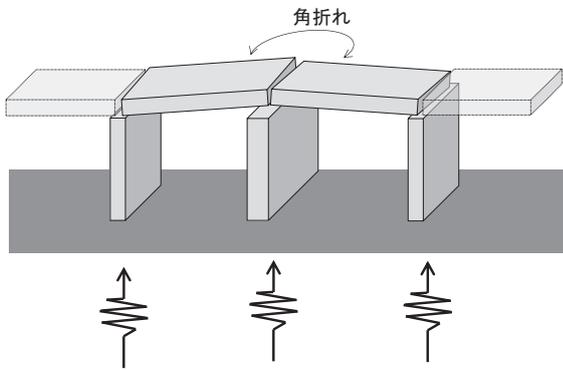


図3 不同変位 (角折れ) の概要

角折れが連続すると、土木構造物上の車両に蛇行が生じ、車両走行安全性に大きな影響を与えるとされる。

2.2.2 目違い

目違いは、図4に示すように隣接する構造物間の水平変位差を表すものである。

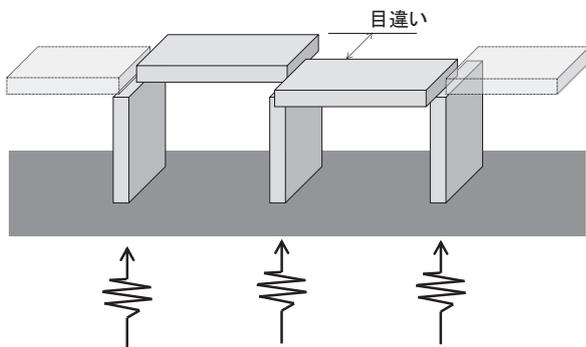


図4 不同変位 (目違い) の概要

目違いが卓越すると、車輪水平移動量が大きくなり、車両走行安全性に大きな影響があるとされる。

以上のように、振動変位は特定の構造物自体の変位に着目した場合、不同変位は隣接する構造物間の相対的な変位に着目した場合の照査項目である。

この2種類の照査項目のうち、一般的な土木構造物では振動変位が支配的になることがわかっている。そこで本研究では、どのような諸元を持つ土木構造物において、一般的な場合とは異なり不同変位が支配的となるかに着目し、検討を行うこととした。

3. 地震時車両走行安全性に影響する諸元検討

振動変位に対して、どのような土木構造物で不同変位が地震時車両走行安全性に支配的となるか、下記の手順で検討を行った。

- ①初めに、東北新幹線の構造物調査を行い、基本となる一般的な構造物諸元を設定した。本研究では、仙台駅を中心とした約100kmの構造物調査結果から、図5のように上部工が延長20mの桁式構造、下部工が高さ10m壁式橋脚を一般的な構造物として設定した。

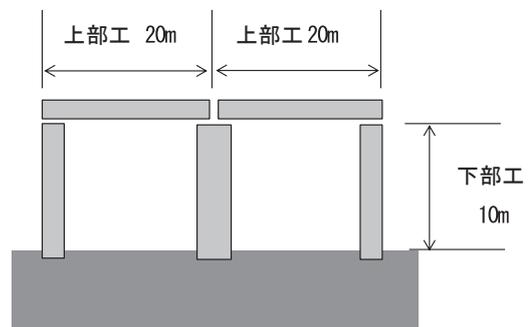


図5 東北新幹線構造物調査による一般的な構造物諸元

- ②次に、図6のように設定した一般的な構造物に対し地震動を漸増させながら入力していき、振動変位が設計限界値となる時点の地震動の大きさ (以降、 ag とする) を求めた。その結果、 ag の値は324galとなった。

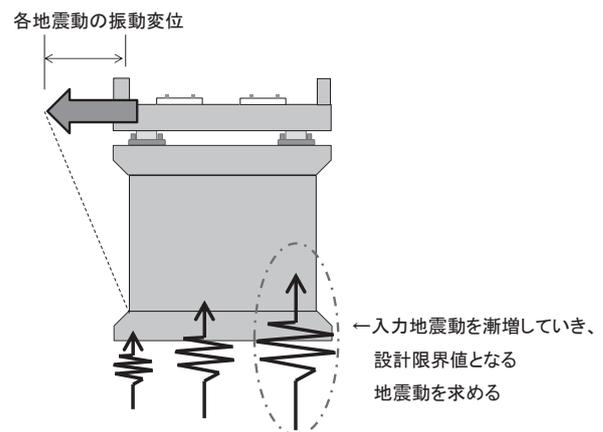


図6 振動変位から定まる地震動の大きさ (ag) の算定

- ③さらに、構造物調査結果から上部工延長と下部工高さの最小および最大値の範囲で構造物諸元を変更し、不同変位を検討するための構造物として仮定した。

構造物調査結果より、上部工延長の範囲は、最小10mおよび最大65mとした。また、下部工高さの範囲は、最小5mおよび最大20mとした。角折れ・目違いは、各構造物の隣接する上部工間に発生する値とする。

図7および図8に上部工検討用の構造物を示す。

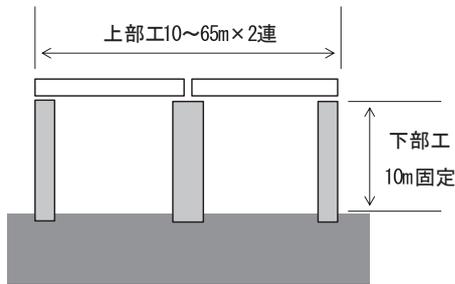


図7 上部工延長を変更した構造物 (1)

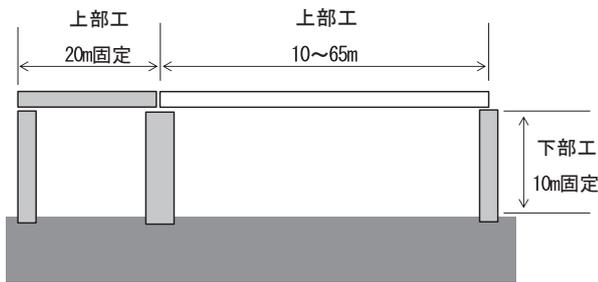


図8 上部工延長を変更した構造物 (2)

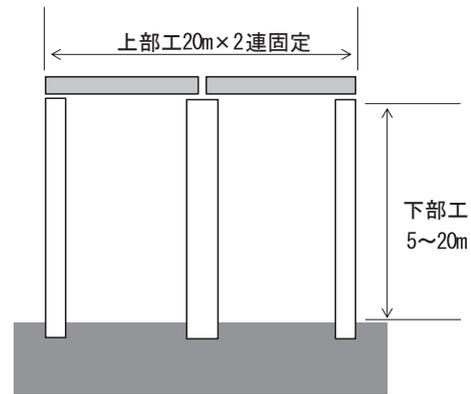


図9 下部工高さを変更した構造物 (3)

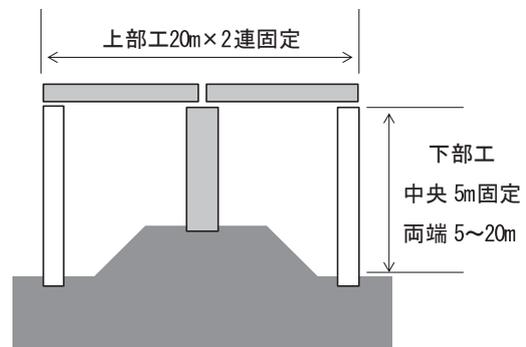


図10 下部工高さを変更した構造物 (4)

図7は、(1) 連続する上部工2連の延長を同じように最小および最大値の範囲で変更していった場合、図8は、(2) 一方の上部工延長を20mで固定し、もう一方の上部工延長を変更していった場合を仮定した構造物である。

(1)は、上部工延長が長くなることの影響を確認するためのモデルである。(2)は、隣接する上部工の延長差を大きくすることで相対変位への影響を確認するためのモデルである。次に、図9および図10に下部工検討用の構造物を示す。

図9は、(3) 連続する下部工3基の高さを同じように最小および最大値の範囲で変更していった場合、図10は、(4) 中央の下部工高さを5mで固定し、両端の下部工高さを変更していった場合を仮定した構造物である。

(3)は、下部工高さが高くなるにつれ、変位量が增大するかを確認するためのモデルである。(4)は、隣接する下部工の高さの差が相対変位へ影響を与えるか確認するためのモデルである。

④構造物諸元を変更した(1)～(4)の各構造物にagを入力し、不同変位が設計限界値超過となるかを確認した。上部工延長の変更結果を図11および図12に示す。両図とも横軸は変更した上部工延長であり、(1)～(2)は前述した各構造物モデルに対応する。

鉄道構造物等設計標準より、地震時の不同変位の設計限界値は、角折れ3.0mrad、目違い7.0mmである。

検討結果(1)は角折れ・目違いのいずれも設計限界値以下であった。ここから同じような上部工延長の構造物が連

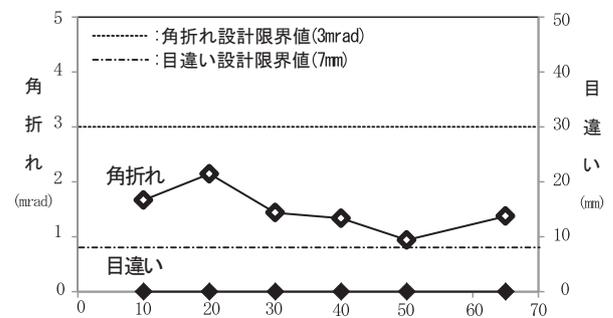


図11 上部工延長での検討結果 (1)

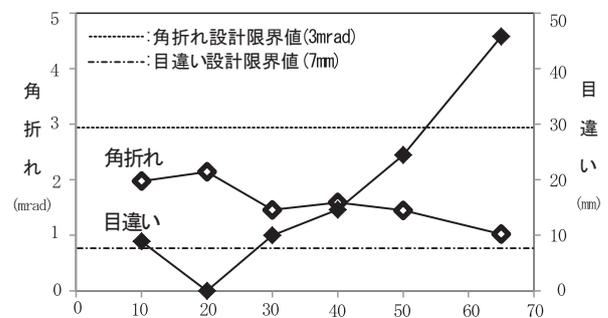


図12 上部工延長での検討結果 (2)

続する場合は、上部工延長の長さに関わらず、不同変位の影響が小さいと考えられる。

一方で、検討結果(2)は角折れについては同様に設計限界値以下であったが、目違いについては上部工延長の

差が10m以上となった場合、設計限界値を超過することが確認された。上部工延長の差が生じるほど上部工重量の差も大きくなり、相対挙動差が大きくなるためと考えられる。次に、下部工高さの変更結果を図13および図14に示す。

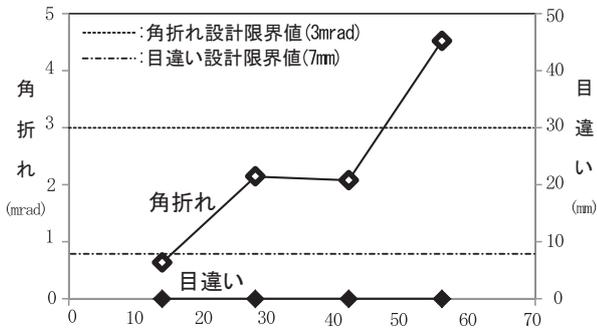


図13 下部工高さでの検討結果 (3)

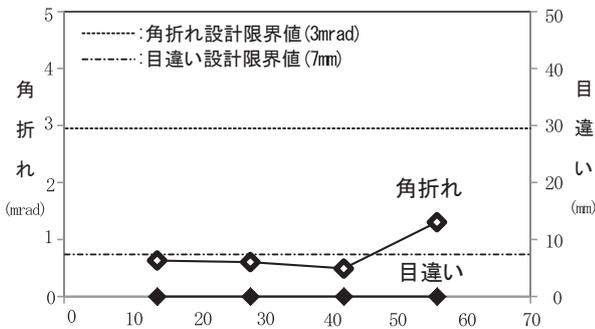


図14 下部工高さでの検討結果 (4)

検討結果 (3) より、目違いは設計限界値内であったが、角折れは下部工高さが増すにつれ大きくなった。

また検討結果 (4) では、目違いは検討結果 (3) と同様に設計限界値内であったが、角折れについては両端下部工高さが増しても大きくならないことが確認された。ここから、隣接する下部工高さの差ではなく、角折れを算定している中央位置の下部工高さにより角折れの応答値が決まると考えられる。

- ⑤ 上部工延長の差により目違いが発生することが確認されたが、目違い抑制効果が期待される構造部材として、図15のように上下部工を接続する沓に配置されたサイドブロックがある。上部工が水平方向に変形しようとした際に、上部工からの荷重を負担することで水平方向の変形を抑える部

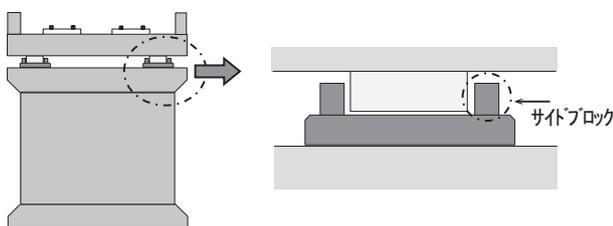


図15 サイドブロック詳細

材である。先行検討では安全側にこの効果を考慮していなかったが、この構造部材の破壊実験を実施した結果を反映し、その効果を検証した。

サイドブロックを考慮したモデルで、検討結果 (2) により再計算した結果を図16に示す。

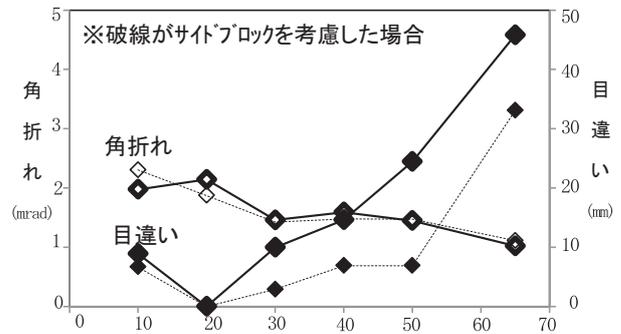


図16 上部工延長での検討結果 (サイドブロック考慮) (2)

検討結果より、目違いに着目した場合、上部工延長の差が大きくなるにつれ目違い量は増加しているが、その増加割合が緩やかになっており、サイドブロックによる目違い低減効果が確認された。

4. おわりに

新幹線の地震時車両走行安全性を確保するため、鉄道構造物等設計標準 (変位制限) での照査項目である振動変位と不同変位に対して、振動変位が設計限界値に達する地震動を求め、その地震動を入力した場合に不同変位が設計限界値に達する構造物諸元を求めた。

その結果、不同変位のうち角折れに対しては下部工高さ自体の影響が大きいこと、目違いに関しては隣接する上部工延長の差の影響が大きいことが確認された。また、目違いに関しては、上下部工を接続する沓のサイドブロックの水位抑制効果が大きいことが確認された。

本研究は、鉄道構造物等設計標準の設計限界値を指標とした基礎研究であり、今後実際の脱線を評価できるモデルを構築し、より詳細な検討を進めていく予定である。

参考文献

- 伊東佑香, 小林薫, 平林雅也: 地震時車両走行性に影響を与える構造物諸元の検討, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.37, No.2, pp.817-822, 2015.
- 鉄道総合技術研究所: 鉄道構造物等設計標準・同解説 (変位制限), 2006, 丸善