

鉄道吊橋と緩衝桁軌道伸縮装置

松浦 章夫(元 鉄道総研)

はじめに

本州と四国を結ぶ連絡橋、瀬戸大橋が開通して既に20年が経ちました。延長10kmを超える海峡部には、大きな橋が幾つも連なって架けられています。図1のように南備讃瀬戸大橋や北備讃瀬戸大橋は大規模な鉄道吊橋として代表的な橋になります。これら本四架橋の建設には、開通のさらに10年前から始めた研究開発の成果が豊富に取り入れられています。特に高速列車の走行を可能にした吊橋の設計法は、世界初の道路が併設された本格的な鉄道吊橋の実現に大いに貢献しました。ここでは、そのなかでも代表的な「緩衝桁軌道伸縮装置」について概説することとします。

鉄道吊橋の特徴

図2は鉄道吊橋の構造を説明しています。吊橋は、アンカレッジと主塔の間に渡された主ケーブルが強く引っ張られ、その張力によって補剛トラスを支える構造となっています。吊橋を真横から見た場合、主ケーブルの形状は、その張力が橋の自重と力学的に釣り合うように定まります。さらに、列車の重さや自動車の重さ、温度変化、風圧や地震力などによっても、その形状は若干変化します。つまり、列車など吊橋上を移動する交通の重さは主ケーブルの形状変化によって支えられることになります。

列車が吊橋を移動するとき、補剛トラスはハンガーケーブルを介して直接に主ケーブルに支えられているので、主ケーブルの形状変化が補剛トラスの形状変化となって現れます。また、吊橋の中央点で主ケーブルと補剛トラスがセ

ンターステイと呼ばれる部材で強く結ばれているので、主ケーブルの形状変化に伴って補剛トラスが前後に移動することになります。

瀬戸大橋の吊橋では、自動車は補剛トラス上部の道路を、列車は補剛トラス内部の軌道を通る構造になっています。補剛トラスに設置されている軌道は、当然のことながら補剛トラスの形状変化の影響を直接に受けて、吊橋の両端の軌道に「伸縮」や「角折れ」が生じることになります。このようにして、吊橋の両端の軌道には、列車が通過するだけでも、大きな伸縮が生じることになります。また、補剛トラスの形状変化によって吊橋の両端の軌道には大きな角折れも生じることになります。

緩衝桁軌道伸縮装置の開発

次に、緩衝桁軌道伸縮装置について説明します。図3には、瀬戸大橋の吊橋に実際に用いられている緩衝桁軌道伸縮装置の全体を表しています。設計時点で計算した吊橋の「伸縮」や「角折れ」は、高速列車の走行安全に影響を与えるほど大きな値になることが分かりました。具体的には、主塔間の間隔900mの北備讃瀬戸大橋や主塔間の間隔1100mの南備讃瀬戸大橋の両端では、軌道の線路長手方向の「伸縮」は1mを超え、「角折れ」は10/1000ラジアン(約0.6度)を超えます。これらの値には列車の通過以外の影響も含まれていますが、従来の鉄道橋のものとは比べものにならない程大きな変形量となります。

それ故、何らかの技術的な対応策を案出しなければ吊橋に鉄道を通すことは技術的に不可能とされました。そこで本四架橋のプロジェクトでは、このような大きな変形量を緩和して列車がスムーズに走行することができる「緩衝桁



図1 本四架橋、瀬戸大橋の鉄道吊橋

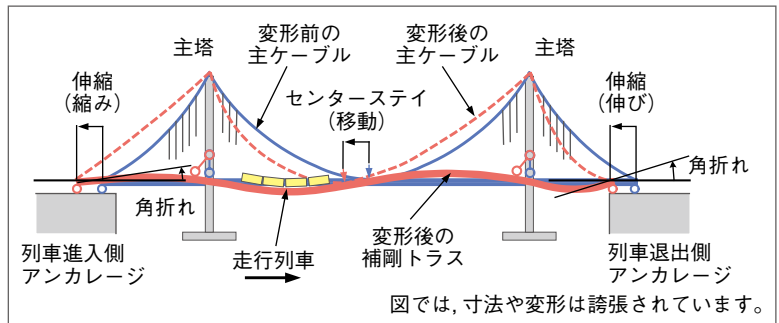


図2 吊橋の変形(列車の移動に伴う伸縮と角折れ)

軌道伸縮装置」を開発することになりました。

伸縮部分の構造については多くの案が考えられましたが、「差込み桁方式」と「移動まくらぎ方式」の二案に絞って、性能を詳細に調べることにしました。「差込み桁方式」は、軌道の伸縮部でレールを縦に2分割して受けレールと切欠きレールに分け、切欠きレールを側桁の間で移動する差込み桁に固定するものです。この方式には軌道に欠線部分が出るので、ガードレールを設けてこれに対処します。差込み桁は補剛トラスと連動して前後に移動しています。一方の「移動まくらぎ方式」は、通常の軌道伸縮部と同様に、先端の尖ったトンダレールを用いてレール相互の摺動により伸縮を吸収するものです。

この両方式について、新幹線軌道上での実車走行試験や繰り返し荷重による過酷な耐久試験などを行い、詳細な分析の結果「差込み桁方式」を採用することになりました。「差込み桁方式」は装置全体をアンカレッジの上に直接に据え付けることができるので、高い設置精度と長期間の安定性にも期待が持てます。瀬戸大橋の吊橋には伸縮能力1500mmを有する「1500形緩衝桁軌道伸縮装置」と呼ばれる差込み桁方式の緩衝桁伸縮装置が設置されています。

列車走行試験による性能の確認

本州四国連絡橋瀬戸大橋では、開業に先立って列車の走行安定性を確認するために、1988年1月から2月にかけて列車走行試験が行われました。「試験列車」としては、営業で用いられるものと同様のディーゼル列車と電車列車に加え、電気機関車10両で編成した「電気機関車牽引試験列車」を使用しました。この「電気機関車牽引試験列車」は、設計時点で考えた列車荷重に近似した荷重です。

図4に見られるように、1500形緩衝桁軌道伸縮装置に「電気機関車牽引試験列車」がアンカレッジ側から進入すると、差込み桁はアンカレッジに向かって押し込まれます。その後、手前の主塔で一旦戻りますが、中央位置を過ぎると再び押し込まれ、最大70mmに達した後に引き出しに転じて、最大75mmに達した後に徐々に最初の状態に戻ります。

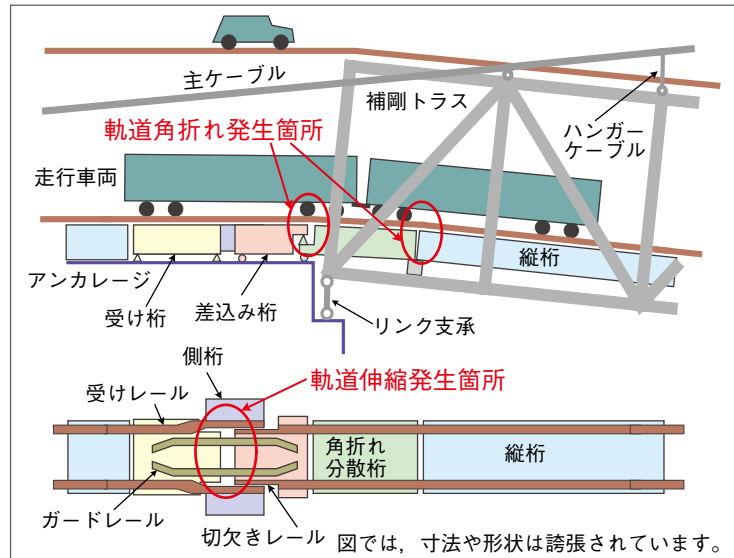


図3 瀬戸大橋の吊橋に用いた「1500形緩衝桁軌道伸縮装置」

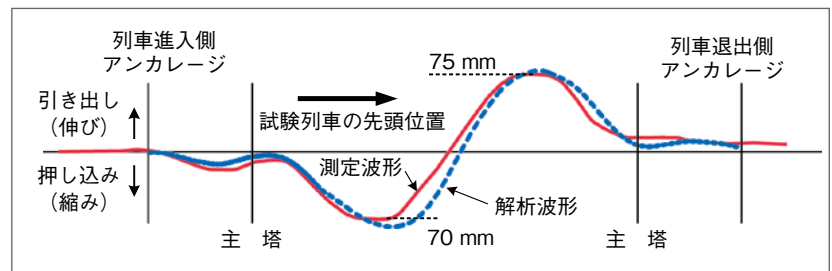


図4 緩衝桁軌道伸縮装置の伸縮量の測定波形と解析波形例
(北備瀬戸大橋の差込み桁の移動量；解析は筆者による)

図には最近のコンピュータ・シミュレーションによる解析波形を併記してあります。大型の吊橋を列車が走行する際の現象は、複雑である上に参照できる実測データが少ないにもかかわらず、労をいとわなければ多くの要因を取り入れて再現することができます。実際に起こっている現象をコンピュータ・シミュレーションによる解析などで正確に把握しておくことは、日常の運行に供される構造物の安全管理や維持管理などに役立ちます。

あとがき

本四架橋のプロジェクトでは、当時の技術レベルの範囲ではありますが、角折れが付いた軌道や地震時に振動する軌道上の車両走行シミュレーションが世界に先駆けて実施されました。このような研究結果は、実物実験などとの比較検討を経て、鉄道吊橋の構造設計に取り入れられています。地震対策などの研究開発に使われる新しい振動軌道上の車両走行シミュレーション手法などを応用して、20から30年前に実用化した技術を基本に立ち戻ってリフレッシュしてみるのも意義あることでしょう。