

施設研究 ニュース

No. 351 2019. 11. 1

公益財団法人 鉄道総合技術研究所 施設研究ニュース編集委員会

RC 壁部材の横方向鉄筋の配筋方法

1. はじめに

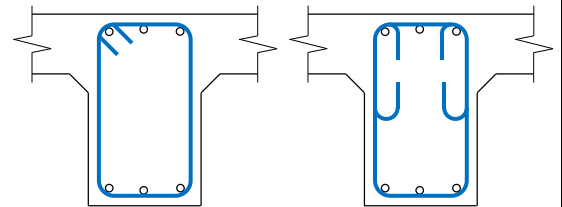
現行の鉄道構造物等設計標準・同解説（コンクリート構造物）¹⁾（以下、コンクリート標準）では、RC 部材の横方向鉄筋（スターラップ、帯鉄筋）の配筋例として図 1 のように示しています。横方向鉄筋は、せん断力に対する補強や軸方向鉄筋およびコンクリートの拘束に加えて軸方向鉄筋に沿ったひび割れの抑制などのために配筋されますが、これらの役割を果たすために閉合した形を基本としています。しかし、山岳トンネルにおける覆工や開削トンネルの側壁・床版など、RC 壁部材に図 1 の配筋方法を適用した場合、鉄筋組立等の施工が困難になることがあります。

そこで、既往の研究や横方向鉄筋の役割を踏まえて、施工性を考慮した RC 壁部材の横方向鉄筋の配筋方法について整理しました。

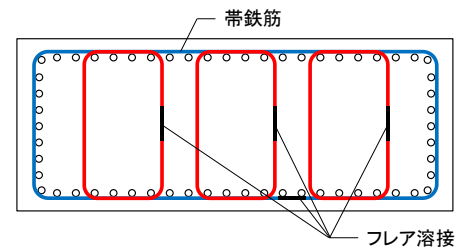
2. 横方向鉄筋の配筋に関する文献調査

土木学会コンクリート標準示方書（設計編）²⁾では、図 2 に示すように、コンクリート標準と同様の閉合した形の配筋のほかにはやむを得ない場合として、一本一本が単独の中間帯鉄筋を用いた配筋例が示されています。

既往の研究において、帯鉄筋の配筋方法に関する実験的な検討もいくつか行われています。渡部らの研究³⁾では、図 3 (a) のように閉合した形の中間帯鉄筋に対してコアコンクリート部分で重ね継手 (20ϕ , ϕ : 鉄筋径) とする場合、半円形フックを設けない場合には定着が不十分となり、半円形フックを設けた場合と比較して変形性能が低下することが示されています。寺山らの研究⁴⁾では、図 3 (b) のように単独の中間帯鉄筋に対して端部の形状を直角フックとし



(a) スターラップの配筋例
(圧縮鉄筋がある場合)



(b) 帯鉄筋の配筋例

図 1 コンクリート標準における横方向鉄筋の配筋例

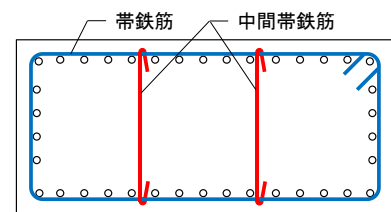
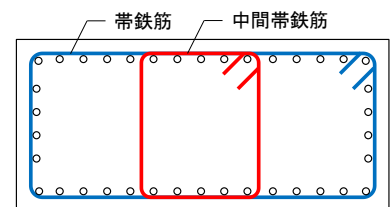
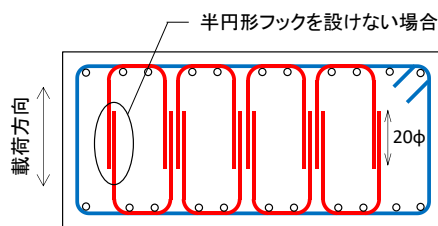
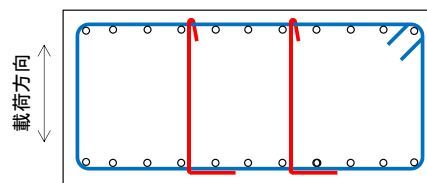


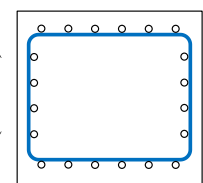
図 2 コンクリート標準示方書における横方向鉄筋の配筋例



(a) 渡部らの研究



(b) 寺山らの研究



(c) 小林らの研究

図 3 既往の研究において変形性能が低下したとされる試験体断面

た場合、帯鉄筋および軸方向鉄筋の拘束が不十分となり、半円形フックとした場合と比較して変形性能が低下することが示されています。小林らの研究⁵⁾では、柱の帯鉄筋において図3(c)のように一部の軸方向鉄筋を取り囲まずに配筋した場合、すべての軸方向鉄筋を取り囲んだ場合と比較して変形性能が低下することが示されています。このように、横方向鉄筋の配筋詳細によって補強効果が異なり、コンクリート標準で想定する変形性能を確保できなくなる場合があると考えられます。

3. 横方向鉄筋の配筋方法の整理

横方向鉄筋であるスターラップ、帯鉄筋の役割や既往の実験結果を踏まえ、原則に従った配筋では施工が困難でやむを得ない場合の横方向鉄筋の配筋方法を図4に、横方向鉄筋の役割を十分に果たせないため適用できないと考えられる配筋方法の例を図5、図6に示します。なお図4において、単独の中間帯鉄筋を用いた場合の変形性能に関する実験データは十分とは言えないため、単独の中間帯鉄筋を横方向鉄筋として用いる場合は、損傷レベルの限界値を小さく設定するなどの配慮が必要と考えられます。また、図に示した横方向鉄筋は、1列ごとにずらした配筋としていることを前提としています。

4. おわりに

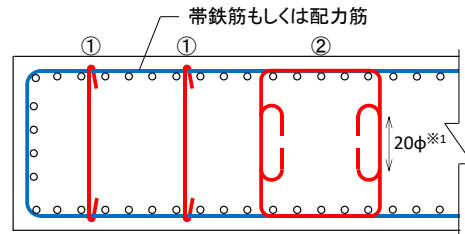
横方向鉄筋の役割を踏まえ、RC壁部材に対し施工が困難な場合にも適用可能な配筋方法について整理しました。

参考文献

- 1) 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），丸善，2004
- 2) 土木学会：コンクリート標準示方書（設計編），丸善，2017.3
- 3) 渡部太郎ら：せん断補強鉄筋の配置形状を変えた壁状部材の交番載荷実験，コンクリート工学年次論文集，Vol.22，No.3，pp.1495-1500，2000.
- 4) 寺山徹ら：中間帯鉄筋による拘束効果に関する実験的研究，土木学会第51回年次学術講演会，V-504，pp.1006-1007，1996.9.
- 5) 小林将志ら：帯鉄筋の形状を変化させたRC柱の交番載荷実験，コンクリート工学年次報告書，Vol.21，No.3，pp.1165-1170，1999.

執筆者：構造物技術研究部 コンクリート構造研究室 西尾悠吾

担当者：構造物技術研究部 コンクリート構造研究室 田所敏弥，中田裕喜



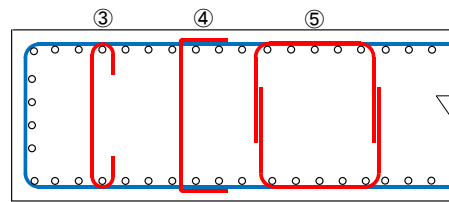
①：単独の中間帯鉄筋の端部は半円形フックにより、帯鉄筋または外側に配筋した配力筋^{※2}に掛ける。

②：フックを軸方向鉄筋に掛けない場合、重ね継手の位置は引張縁に偏らないように中央部とする。

※1：重ね継手長 20ϕ は SD345 以下，かつ $f'_{ck}=24\text{N/mm}^2$ 以上の場合に適用可。

※2：配力筋は中間帯鉄筋と同じ材質・径・軸方向間隔とする。

図4 施工が困難でやむを得ない場合の壁部材の横方向鉄筋の配筋方法

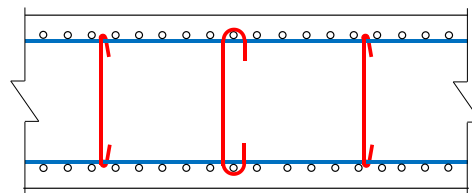


③：単独の中間帯鉄筋を軸方向鉄筋に掛けると、十分に拘束されない軸方向鉄筋が生じる。

④：単独の中間帯鉄筋の端部が直角フックの場合、ひび割れやかぶりコンクリートのはく落により定着が十分でなくなる。

⑤：重ね継手の端部を直筋とすると、コアコンクリートへの定着が十分でなくなる。

図5 適用できない配筋方法(1)



単独の中間帯鉄筋を、軸方向鉄筋もしくは軸方向鉄筋より内部にある配力筋に掛けた場合、十分に拘束されない軸方向鉄筋が生じる。

図6 適用できない配筋方法(2)

まくらぎ直結軌道用伸縮継目の弾性支持構造

1. はじめに

まくらぎ直結軌道用伸縮継目は、新幹線のスラブ軌道区間におけるロングレール端で使用されており、図1のようにまくらぎをコンクリート道床で直接支持する構造となっています。基本的な構造はバラスト軌道用のものと同様で、レールの温度変化に伴う伸縮を吸収する機能を有しています。まくらぎ直結軌道は、バラスト軌道より剛に支持されている一方で、新幹線のスラブ軌道区間では低弾性のレール締結装置が採用されていることから、前後の一般区間と軌道の支持ばねに大きな差が生じています。そこで、まくらぎ直結軌道用伸縮継目に適用できる弾性支持構造を開発しました。

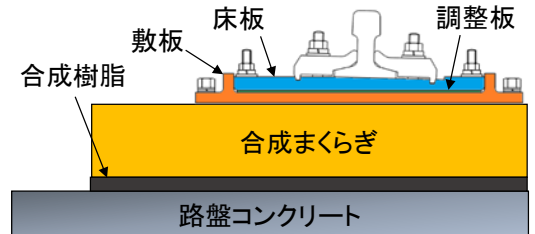


図1 まくらぎ直結軌道と
現行の伸縮継目の支持構造

2. 弾性支持構造

図2に示すように、弾性支持構造は床板の下に弾性材を配置し、板ばねで締結した2重弾性締結方式です。前後の一般区間（スラブ軌道、30MN/mの軌道パッドを使用した直結8形レール締結装置）と同等の軌道支持ばねを実現しています。

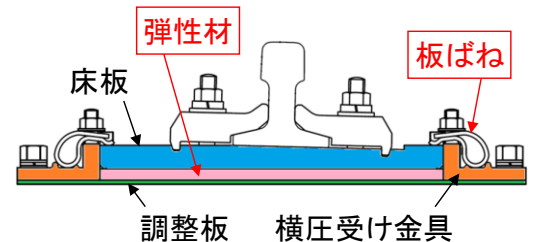


図2 弾性支持構造

また、現行品と置き換えが可能で、床板から上部は現行品のままです。上下方向（-5～+10mm）および左右方向（±6.4mm）の調整機能を有しています。

3. 性能照査

開発した弾性支持構造について、鉄道構造物等設計標準 軌道構造の「5.5 レール締結装置」¹⁾に準拠して疲労破壊に関する安全性の照査を実施しました。

斜角載荷試験における板ばねの耐久限度線図による照査の結果を図3に示します。いずれの測点とも第2破壊限度および第2へたり限度以内に収まっています。また、レールの頭部左右変位量は最大 2.50mm であり、新幹線軌道におけるレールの頭部左右変位量の設計限界値 5.2mm 以下でした。

2軸疲労試験の様子を図4に示します。試験の結果、板ばね、締結ボルトおよび弾性材等の部材について、100万回載荷後にき裂や顕著な摩耗等の変状は認められませんでした。

以上より、弾性支持構造が疲労破壊に関する安全性の照査を満足することを確認しました。

4. 走行解析による弾性支持の効果の検証

伸縮継目の弾性支持化による効果を検証するため、車両走行解析を実施しました。

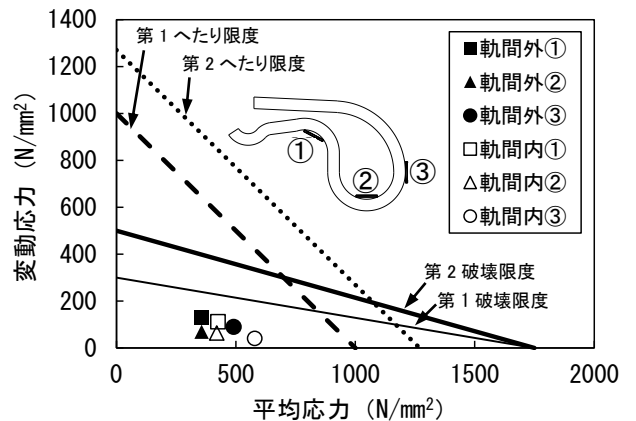


図3 耐久限度線図による照査



図4 2軸疲労試験の様子

図5に示すように、車両、軌道ともにマルチボディダイナミクスモデルであり、車両は新幹線車両を想定しています。また、伸縮継目はレール長手方向にレール断面形状が変化しており、特に受けレールからトングレールへ（またはトングレールから受けレールへ）乗り移る際の車輪との接触状態を精度よく再現するため、50mm 間隔でレール断面形状を設定し、伸縮継目の軌道モデルを作成しています。なおレールは剛体とし、レールの下はばね（以下、「レール支持ばね」という。）で支持しています。

走行速度を 300km とした場合の輪重の解析結果を図6に示します。現行品は、伸縮継目進入時にレール支持ばねが急変する箇所と、乗り移りの箇所で輪重変動が生じています。一方で、弾性支持構造は、伸縮継目進入時にレール支持ばねが急変しないため、ほぼ輪重変動が生じておらず、乗り移りの位置でも最大輪重が小さくなり、輪重変動が小さくなることを確認できます。

この結果から、伸縮継目を弾性支持することにより、伸縮継目への作用荷重が緩和されると考えられます。

5. 試験敷設

新幹線が低速で通過する簡易伸縮継目を対象として、図7のように開発した弾性支持構造の試験敷設を実施しました。既設のトングレール、受けレール、レールブレス、座金およびボルト類はそのまま利用し、現行の床板、敷板および調整板を撤去し、開発した弾性支持構造の床板、弾性材、横圧受け金具、板ばね、板ばね締結用ボルトおよび調整板を設置しました。施工範囲はまくらぎ 11 本分であり、一晩の作業時間帯で問題なく施工できることを確認しました。

6. おわりに

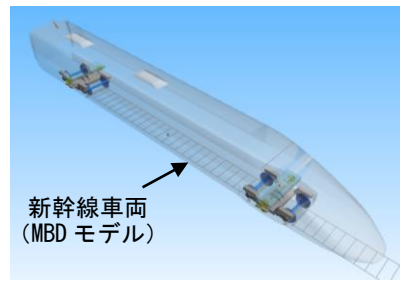
まくらぎ直結軌道用伸縮継目の弾性支持構造を開発し、走行解析により、その効果を検証しました。また、試験敷設により施工性に問題がないことを確認しました。弾性支持構造を敷設することで、伸縮継目への作用荷重の低減が期待できます。

参考文献

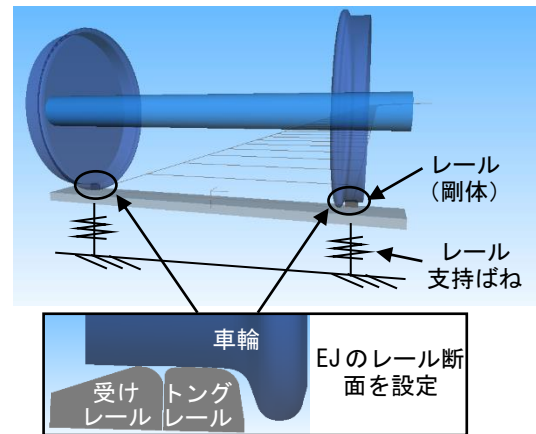
1) 国土交通省鉄道局監修，鉄道総合技術研究所編：鉄道構造物等設計標準・同解説 軌道構造，丸善出版株式会社，pp.52～60，2012

執筆者：軌道技術研究部 軌道構造研究室 清水紗希

担当者：軌道技術研究部 軌道構造研究室 及川祐也，弟子丸将



(a) 車両モデル



(b) 軌道モデル

図5 シミュレーションモデル

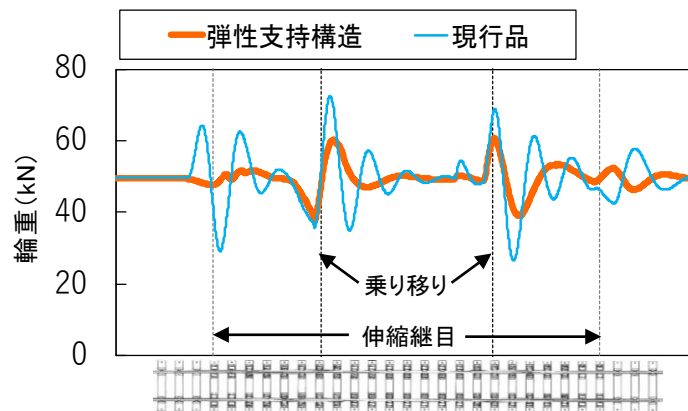


図6 走行解析の輪重の結果



図7 試験敷設の状況

大規模な斜面崩壊の降雨しきい値に関する事例研究

1. はじめに

豪雨による大規模な斜面崩壊（いわゆる“深層崩壊”を含みます）については、2004年に三重県で、2005年に宮崎県で、2011年に高知県、奈良県、和歌山県、三重県で相次いで発生し、各地の崩壊箇所について詳細な調査や検討が行われてきました。大規模な斜面崩壊は、崩壊箇所近傍に甚大な被害を及ぼすだけでなく、多量の崩壊土砂および樹木の流下や、河道閉塞等により形成されるいわゆる天然ダムの崩壊により、河川下流域にまで被害が及ぶことがあります。そのため、河川横断を伴うことが多い道路や鉄道などの線形構造物は、崩壊箇所から離れた場所にあっても被災する可能性があります。本稿では、大規模な斜面崩壊が発生した場合の鉄道への影響を評価するための研究の一環として、崩壊が発生する降雨量のしきい値について解析雨量を用いて検討した結果について紹介します。

2. 事例の抽出

本検討では、砂防学会や土木研究所の定義を参考に、①崩壊土砂量が10,000m³以上、②崩壊地の深さが5m以上、③主な誘因が降雨、④地すべりではない、の4つの条件を満たすものを大規模な斜面崩壊と定義し、文献調査により193事例を抽出しました。このうち崩壊発生日と崩壊箇所の位置が出典に明示されていた94事例を検討の対象とし、崩壊発生時の降雨量を気象庁の解析雨量をもとに整理しました。ここで解析雨量とは、国土交通省水管理・国土保全局、道路局と気象庁が全国に設置している気象レーダーとアメダス等の地上の雨量計を組み合わせ、降水量分布を1kmメッシュ（メッシュサイズは期間によって異なる）で解析したものです。解析雨量のデータは、アメダスデータ（測定地点の間隔は20km程度）に比べて空間分解能が高いため、局地的な豪雨であっても捕捉できる可能性があります。

3. 検討方法

解析雨量の取得と処理の手順を図1に示します。対象とした94事例のうち、崩壊発生時刻が既知であったのは17事例で、崩壊発生日が既知であったのは77事例でした。解析雨量は前1時間雨量（たとえば、10時の前1時間雨量とは9時から10時までの雨量のことを指し、これを時雨量と呼びます）のデータで、データ取得時期によってメッシュ間隔やデータの記録頻度が異なります（表1）。このうち記録頻度については、1時間ごとのデータに合わせることで、この時雨量をもとに、降り始めからある時刻までの雨量の累積値である連続雨量を算出しました。なお、連続雨量の算出にあたっては、雨量の累積をリセットするための「無降雨の継続時間」を24時間としました。

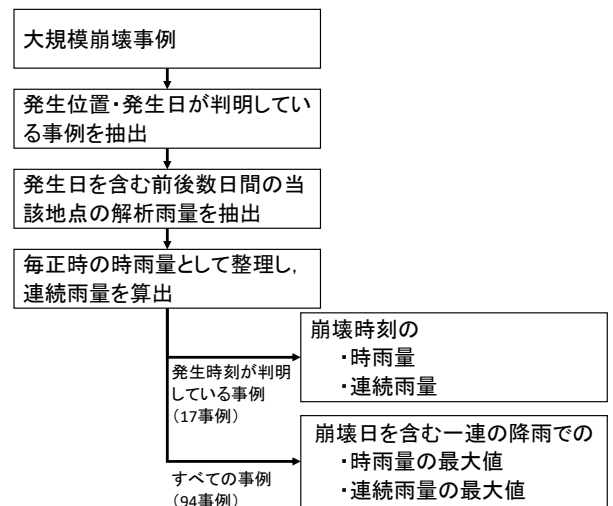


図1 解析雨量の取得と処理の流れ

4. 結果

(1) 崩壊時刻が判明している事例

崩壊時刻が判明している17事例の、崩壊時刻の

表1 解析雨量の諸元

解析雨量データの時期	メッシュサイズ (経度方向・緯度方向)	記録頻度	測地系
1988年1月～2001年3月	約5km (0.05度・0.0625度)	1時間ごと	日本測地系
2001年4月～2003年5月	約2.5km (0.025度・0.03125度)	1時間ごと	日本測地系
2003年6月～2005年12月	約2.5km (0.025度・0.03125度)	30分ごと	世界測地系
2006年1月～	約1km (0.0125度・0.0083度)	30分ごと	世界測地系

時雨量と崩壊時刻までの連続雨量の関係を図2に示します。いずれの事例も、崩壊が発生するまでの連続雨量は600mmを超えており、多量の降雨があったことがわかります。一方、崩壊発生時刻直近の時雨量は0~30mmで、このうち3mm以下の事例が10事例ありました。

(2) 崩壊日が判明している事例

崩壊日が判明している94事例(崩壊時刻が判明している17事例を含みます)について、崩壊が発生した一連の降雨における時雨量の最大値と崩壊発生日までの連続雨量の関係を図3に示します。多くの事例で連続雨量が500mmを超えていること、連続雨量が400~500mmの事例のほとんどは時雨量が50mmを超えていることがわかりますが、これらより少ない時雨量・連続雨量で発生している崩壊が2件あります。このうち図中Aの事例は九州のシラス台地における崩壊で、崩壊1ヶ月前からの累積1,000mmを超える先行降雨の影響が指摘されています。また図中Bの事例では、県の雨量計では最大の時雨量が125mmで連続雨量は655mmまで観測された後に欠測となったとされています。なお、Bの事例については、取得した解析雨量のメッシュ間隔は2.5kmであり、局地的な雨を観測できなかった可能性があります。

(3) 降雨しきい値

以上のことから、崩壊発生時刻が判明している事例をすべて包含できる降雨しきい値は「連続雨量≧約600mm」となります。一方、崩壊発生日が判明している事例を考慮すると、概ね過去の事例を包含できるしきい値として「時雨量≧約50mmかつ連続雨量≧約400mm」または「連続雨量≧約500mm」(図3中の青いラインより右側の範囲)が考えられます。しかし前述のように崩壊発生日が判明している事例の雨量は一連の降雨の最大値ですので、このしきい値よりも少ない降雨で崩壊が発生している可能性があります。また前述のようにこのしきい値よりも少ない降雨で崩壊が発生している事例もあることから、前述のしきい値で過去の事例をほぼ包含できるとはいえ、まだ課題が残ります。

5. おわりに

本稿では、大規模な斜面崩壊が発生しうる降雨しきい値について検討した結果を示しました。事例分析により一定のしきい値を示すことができましたが、残る課題について、引き続き検討を進めてまいります。

執筆者：防災技術研究部 地質研究室 長谷川淳

担当者：防災技術研究部 地質研究室 (現：構造物技術研究部 トンネル研究室) 浦越拓野

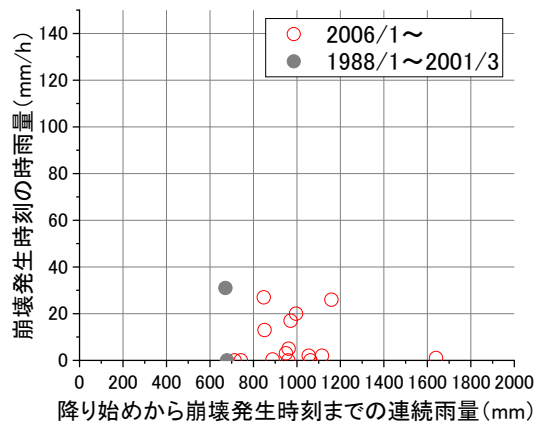


図2 崩壊時刻の連続雨量-時雨量の関係 (崩壊発生時刻が判明している17事例)

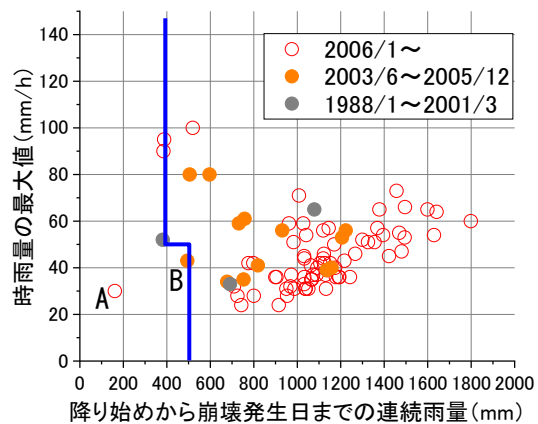


図3 崩壊発生日までの連続雨量-時雨量の関係 (全94事例)

鉄道地震災害シミュレータによる 路線全線の地震ストレステスト

1. はじめに

地震による鉄道機能の一時喪失が企業活動や利用者の生活に与える影響は非常に大きく、地震後の鉄道機能の早期復旧に対する社会的ニーズは高まっています。早期復旧のためには、あらかじめ路線全線の被害状況を推定し、耐震補強の実施や点検の優先順位決定などの事前対策を講じておくことが非常に重要です。本稿では、路線全線の被害推定および事前対策の決定に有効な手法の一つである、鉄道地震災害シミュレータを活用した地震ストレステストについて紹介します。

2. 鉄道地震災害シミュレータの概要

鉄道総研では、断層・深層地盤から表層地盤、構造物の詳細な情報を基に、地震動推定から構造物の被害推定までを一連で評価可能な「鉄道地震災害シミュレータ」(以下、災害シミュレータと呼びます)を開発しています。この災害シミュレータを用いるためには路線内の構造物の解析モデルが必要ですが、長大路線を対象とした場合、構造物数が膨大でモデル化に時間とコストが必要となる場合や、モデル化に必要な構造諸元が十分に揃えられない場合が多く、被害推定が困難な場合があります。そこで、路線に占める割合の多い橋梁・高架橋を対象として、得られる情報を最大限活用して効率的な構造物モデルを構築可能な「インベントリー法」を開発しました。

3. インベントリー法の概要

インベントリー法の概要を図1に示します。「インベントリー(Inventory)」という言葉には“在庫調べ”という意味があります。すなわち、インベントリー法とはあらかじめ用意した膨大な“在庫=データベース”を調べることで、構造物のモデル化に必要な情報を抽出する方法です。

構造物のモデル化に必要な情報は、構造全体系を1自由度系モデルで表したときの等価固有周期 T_{eq} 、降伏震度 k_{heq} としました。これは、一般的な橋りょう・高架橋であれば1自由度系モデルによって全体的な挙動を表現できる²⁾ためです。これらのパラメータをデータベースから抽出します。

一方、抽出に必要な情報は、図2に示す構造諸元(以下、パラメータ)としました。これは、 T_{eq} と k_{heq} への影響程度や諸元整理の容易さを勘案して選定しました。選定したパラメータの有効性の確認結果を図3に示します。図3より、パラメータのみを整理して他の諸元は一般的な値で代用して構築したモデルでも、すべての諸元を整理して構築したモデルとほぼ同様の応答を示しており、図2のパラメータのみを整理すればモデル構築が可能なが分かりました。

次に、 T_{eq} 、 k_{heq} とパラメータとを紐づけるため、パラメータの値を網羅的に組み合わせた300万ケースの構造物のモデルを構築してプッシュ・オーバー解析を行いました。そして、算定した T_{eq} 、 k_{heq} とパラメータの関係をデータベースとして構築しました(図4)。

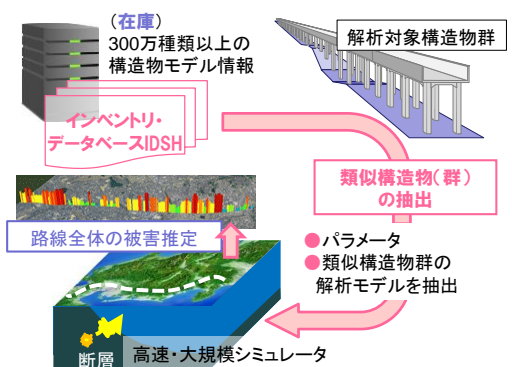


図1 インベントリー法の概要

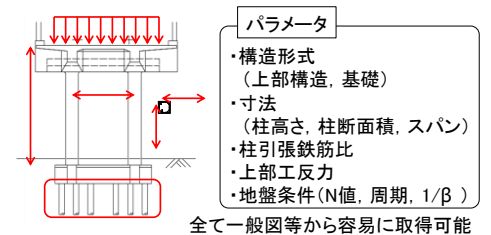


図2 選定したパラメータ

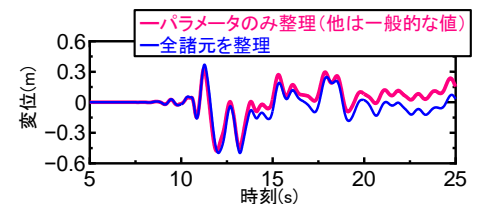


図3 パラメータの有効性確認結果

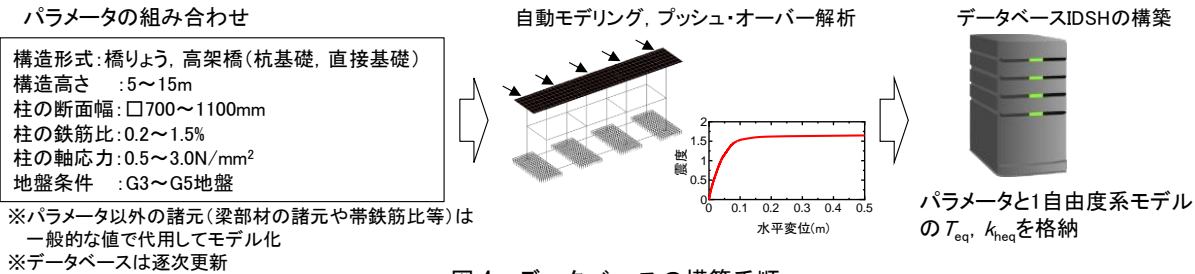


図4 データベースの構築手順

本手法の適用に際しては、対象構造物に対して図2のパラメータを整理し、データベースにパラメータが完全に一致した構造物があればその T_{eq} , k_{heq} を抽出します。また、データベースとパラメータが完全に一致しない場合も、パラメータの類似した複数の構造物群を抽出して補正を行うことで、1つの T_{eq} , k_{heq} を推定できます。図5に試算例を示しますが、この例では詳細な設計計算と比較して、 T_{eq} は4%、 k_{heq} は7%の相対誤差で推定することができました。推定結果を用いて構築した1自由度系モデルの応答解析によって、構造物の被害を推定できます。

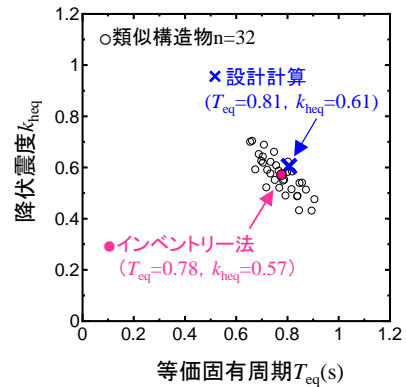


図5 T_{eq} , k_{heq} の推定結果

4. 地震ストレステスト

以上で述べた路線のモデル化および被害推定の活用例として、「地震ストレステスト」があります。これは図6に示すように、路線の構造物群に対して、震度5弱、震度5強、震度6弱…と一律で地震規模を増加させて被害推定を行い、地震規模と被害の関係を評価する手法です。これによって、路線内の相対的な弱点箇所を抽出し、耐震補強対策の優先順位の設定を支援します。本手法は既に複数の鉄道事業者で活用いただいています。さらに、本稿で紹介した手法で構築した路線構造物のモデルは、鉄道総研の「鉄道地震被害推定情報配信システム」(DISER)に組み込み、地震後の即時被害推定にも活用できます³⁾。

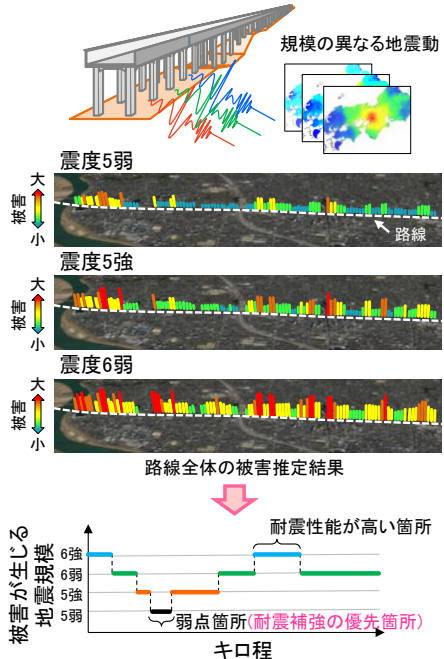


図6 地震ストレステストのイメージ

5. おわりに

鉄道地震災害シミュレータによる路線全線の被害推定手法と、その活用方法である「地震ストレステスト」を紹介しました。今後もデータベースの拡充等、更なる精度向上を図ります。

参考文献

- 1) 本山紘希ら：鉄道地震災害シミュレータの開発，鉄道総研報告，Vol. 30, No. 5, pp. 5-10, 2016
- 2) 室野剛隆ら：構造物の損傷過程を考慮した非線形応答スペクトル法の適用，土木学会地震工学論文集，Vol. 29, pp. 520-528, 2007
- 3) 鉄道地震被害推定情報配信システム (DISER) の運用開始について：https://www.rtri.or.jp/press/is5f1i000000b7d-att/20190729_002.pdf

執筆者：鉄道地震工学研究センター 地震応答制御研究室 小野寺周

担当者：鉄道地震工学研究センター 地震応答制御研究室 和田一範，豊岡亮洋

編集委員会からのお知らせ: 2014年度より施設研究ニュースのpdfデータを鉄道総研HPに掲載しています。詳しくは、鉄道総研HPのトップページから【研究開発】⇒【研究ニュース】⇒【施設研究ニュース】(http://www.rtri.or.jp/rd/rd_news.html)にアクセスしてください。

発行者：楠田 将之 【(公財) 鉄道総合技術研究所 施設研究ニュース編集委員会 委員長】
 編集者：水谷 淳 【(公財) 鉄道総合技術研究所 軌道技術研究部 レールメンテナンス】