

地中構造物と橋梁の一体構造の耐震性能の評価

藤野和雄¹・林秀和²・中岡和伸³・吉澤努⁴・近藤香⁵

¹正会員 東日本高速道路株式会社（〒110-0014 東京都台東区北上野1-10-14）

²正会員 工修 株式会社高速道路総合技術研究所（〒194-8508 東京都町田市忠生1-4-1）

³正会員 大日本コンサルタント株式会社 構造保全事業部（〒343-0851 埼玉県越谷市七左町5-1）

⁴正会員 工修 大日本コンサルタント株式会社 保全エンジニアリング研究所（〒170-0003 東京都豊島区駒込3-23-1）

⁵大日本コンサルタント株式会社 復興・防災推進部（〒550-0014 大阪府大阪市西北区北堀江1-22-19）

1. はじめに

(1) 路線概要

東京外かく環状道路（外環）は、都心から半径約15kmのエリアを結ぶ延長約85kmの幹線道路で、首都圏の交通混雑の緩和や都市間の円滑な交通ネットワークの実現を目的としている。このうち千葉県区間は、図-1に示す松戸市小山から市川市高谷に至る延長12.1kmである。道路規格は表-1に示す通りである。

表-1 道路規格

項目	内容
道路名	東京外かく環状道路
路線名	専用部：東関東自動車道水戸線 一般部：国道298号
区間	千葉県松戸市～千葉県市川市
延長	約12km（うち専用部掘削区間9km）
道路規格	専用部：1種3級 一般部：4種1級
車線数	専用部：4車線 一般部：4車線
設計速度	専用部：80km/h 一般部：60km/h

(2) 検討対象および検討目的

本検討の対象区間は、京葉道路との交差部に位置する稲荷木地区である。図-2の路線平面図において、検討箇所は枠で囲まれた位置にある。

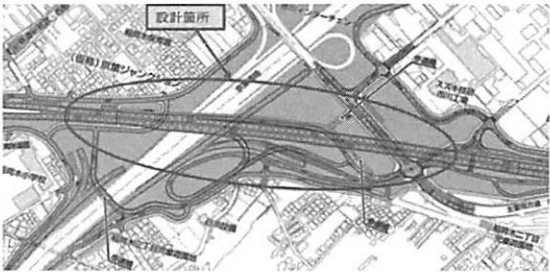


図-2 路線平面図

外環の千葉県区間における主要な構造物は専用部の地中構造物であるが、当該地区では一般部が橋梁で京葉道路と立体交差することから、約600mにわたって、地中構造物の上に橋梁が架設される特殊な構造形式となっている。

外環稲荷木地区の構造物における耐震設計上の課題は、まず、地中構造物が橋梁の基礎を兼ねるため、基礎としての機能を満足し、かつ、橋梁からの慣性力に耐える構造物とする必要があること。次に、橋梁の地震応答に地中構造物との動的相互作用の影響

が考えられるため、これを考慮した上で橋の必要な耐震性能を確保することである。

このような課題を解決するために、一般部の橋梁の耐震性能照査と地中構造物の耐震性能照査を合理的に行うことを目的として、本検討では、橋梁と地中構造物を一体とした解析検討を実施した。



図-1 外環千葉県区間

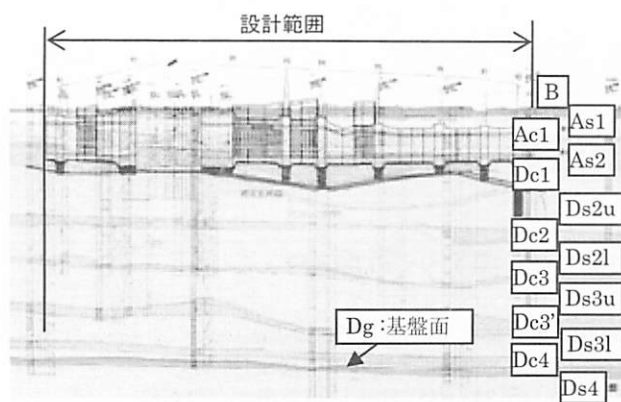


図-3 検討範囲の土層縦断面図

2. 設計条件

(1) 地盤条件

稲荷木地区の土層縦断面図を図-3に示す。

当該地区では地形の起伏は少なく、極端な不整形は見当たらない。ほぼ全域にわたり沖積層の厚さは10m程度であり、道路橋示方書¹⁾による区分ではⅡ種地盤に分類される。表層地盤は比較的軟弱であり、As1層の設計N値は5、Ac1層は1、Dc1層は11である。特に沖積砂層のAs1層、As2層は液状化の可能性があり、地中構造物の横断方向については、有効応力解析を別途実施して耐震性能を確認した。

(2) 専用部（地中構造物）の構造条件

専用部の地中構造物は鉄筋コンクリート構造のボックスカルバートである。稲荷木地区では、頂版に開口部（スリット）を有する掘割区間と、開口部を有さない蓋掛け区間、橋梁の基礎を兼ねる区間の3通りが存在する。

橋梁の基礎を兼ねる区間は、橋梁の支持層となるDs2u層まで置換えコンクリートまたは杭を配置して支持することとした。両者を経済比較して選定したところ、A2橋台だけが杭、それ以外の箇所については置換えコンクリートを採用した。

(3) 一般部（橋梁）の構造条件

一般部は上下線分離の3+5径間の鋼箱桁橋である。橋台間の距離は560mであり、京葉道路を跨ぐ区間は橋長275m程度の3径間連続となっている。

橋梁の支承形式は、免震構造では変形量が大きく、経済性も含めて採用が難しいことから、後述に示す比較検討より多点固定構造を採用した。橋脚は、橋梁と地中構造物の接合方式の比較検討より、壁式橋脚またはラーメン式橋脚を採用した。

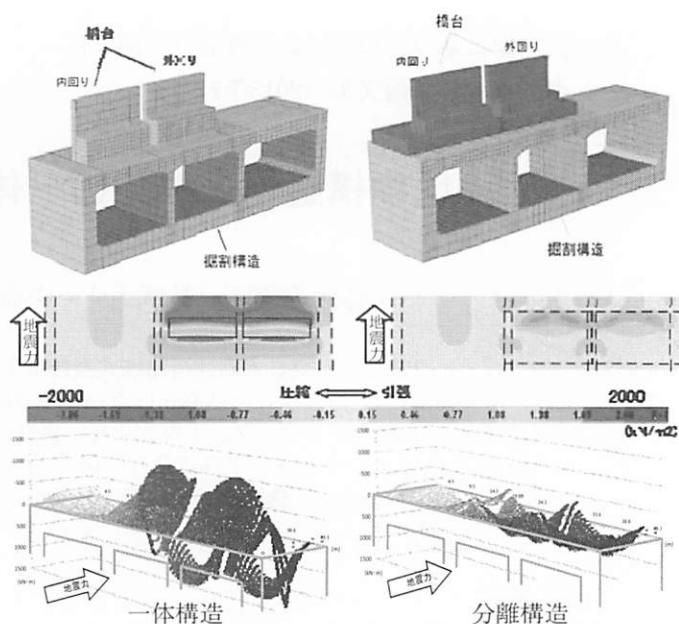


図-4 橋台部の接合方式比較検討

表-3 目標とする耐震性能

	橋梁の耐震性能	地中構造物の耐震性能
レベル1地震動	・地震によって橋としての健全性を損なわない性能	・人命に危害を与えない ・地震直後にも通常の供用が可能 ・耐久性確保のため補修等で対処可能
レベル2地震動	・地震による損傷が限定的なものにとどまり、橋としての機能回復が速やかに行い得る性能	・人命に危害を与えない ・地震直後にも緊急車両の通行が可能 ・補修・補強により建設当初の機能回復が図れる

(4) 橋梁と地中構造物の接合方式

橋梁と地中構造物の接合方式は、地震時荷重を静的に載荷した三次元FEM解析によって比較検討を行って最適な方法を選定した。橋梁から伝達される荷重は地中構造物の頂版に与える影響が大きいことから、主として頂版に発生する力の流れや大きさに着目して選定した。その結果、橋台部では分離構造、京葉道路との交差部にあたる橋脚では一体化構造（壁式橋脚）、その他の橋脚では一体化構造（ラーメン式橋脚）とした。

ここでは、代表ケースとして橋台部の解析モデルおよびレベル2地震動の橋軸方向における頂版に発生する応力と曲げモーメントの分布を図-4に示す。橋台に底板を設けて分離構造とすることで、橋梁の荷重が頂版へ分散されて発生断面力を抑えることができた。

3. 構造物の耐震設計方針

(1) 目標耐震性能

耐震設計における構造物の目標耐震性能は表-3に示すとおり、地中構造物は外環の設計条件統一事項²⁾により設定した。橋梁については道路橋示方書¹⁾に示されたB種の橋のものを適用した。

表-4 設計地震動の元となった観測波

地震	観測波
①レベル1地震動	
L1-1 1978年宮城県沖地震	関北橋周辺地盤上LG
L1-2 1978年宮城県沖地震	関北橋周辺地盤上TR
②レベル2タイプI地震動	
T1-1 1978年宮城県沖地震	関北橋周辺地盤上LG
T1-2 1978年宮城県沖地震	関北橋周辺地盤上TR
T1-3 1993年北海道南方沖地震	七峰橋周辺地盤
③レベル2タイプII地震動	
T2-1 1995年兵庫県南部地震	神戸海洋気象台EW
T2-2 1995年兵庫県南部地震	長谷Y
T2-3 1995年兵庫県南部地震	長谷Y

(地中構造物用)

表-5 設計地震動

地震	観測波
①レベル1地震動	
I 種 昭和43年日向灘地震	坂島橋周辺地盤上LG
②レベル2タイプI地震動	
I 種 1968年日向灘沖地震	坂島橋周辺地盤上LG
II 種 1968年日向灘沖地震	坂島橋周辺地盤上TR
1994年北海道東方沖地震	道根沼入橋周辺地盤上LG
③レベル2タイプII地震動	
I 種 1995年兵庫県南部地震	阪西日本濃取駅橋内地盤上NS
II 種 1995年兵庫県南部地震	阪西日本濃取駅橋内地盤上EW
1995年兵庫県南部地震	大阪ガス倉合供給所橋内地盤上N278

(橋梁用)

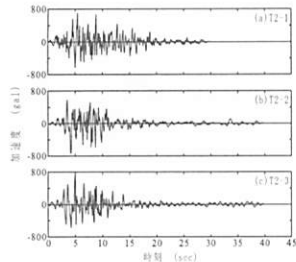


図-5 加速度波形 (レベル2タイプII)

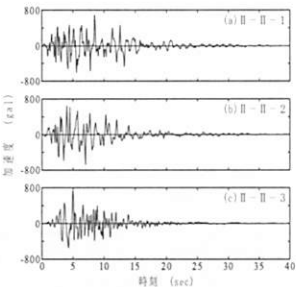


図-6 加速度波形 (レベル2タイプII)

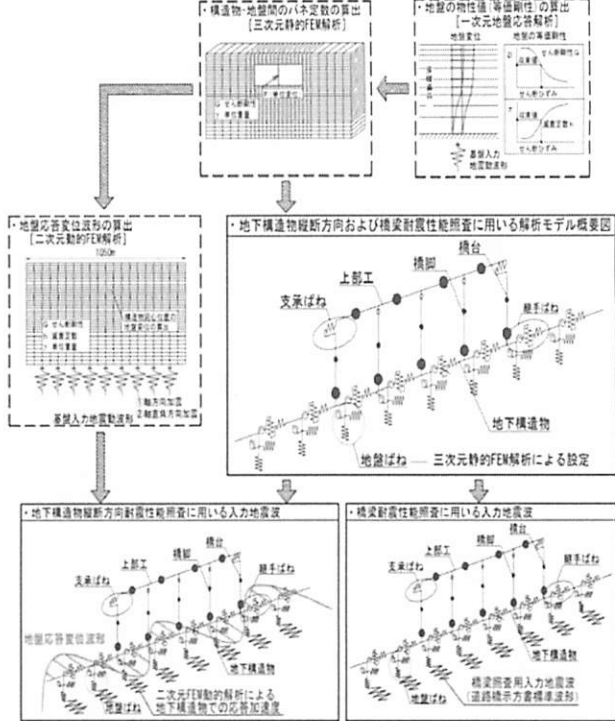


図-7 耐震照査の流れ

(2) 設計地震動

地中構造物の設計地震動は、外環の設計条件統一事項²⁾に定められた加速度波形，橋梁の設計地震動は，道路橋示方書¹⁾の加速度波形を用いる。

1) 地中構造物用

各加速度波形の元になった地震記録を表-4に示す。設計地震動は，これらの波形を基盤面における応答スペクトルの設定値に適合するよう振幅調整したものであり，レベル2タイプII地震波の加速度波形図を図-5に示す。

2) 橋梁用

橋梁用の設計地震動を表-5に示す。橋梁用の設計地震動は，道路橋示方書¹⁾のレベル1地震動1波形，レベル2地震動タイプIおよびタイプIIの6波形を用いる。図-6はレベル2地震動タイプIIの加速度波形である。

(3) 構造物の耐震設計方針

地中構造物の耐震設計は，大きく分けて横断方向の設計と縦断方向の設計の2通りを実施した。

地中構造物の横断方向の耐震設計は，地盤－構造物一体の非線形FEM動的解析により実施した。当該工区では一部のボックスカルバートが橋脚の基礎を兼ねるため，橋脚を支持する設計断面ではボックスカルバートと橋脚を一体とした解析モデルによる動的解析を行った。

縦断方向の耐震設計は，地盤変位によりカルバートの個々のブロックがどのように変位するかを解析し，ブロック長の検討と，軸方向・直角方向のボックスカルバートおよびブロック間の継手の照査を行った。縦断方向の解析モデルは，ボックスカルバートと橋梁を一体化したモデルとして地中構造物と橋梁の動的相互作用を考慮した解析を実施した。また，橋梁基礎を兼ねるボックスカルバートは，基礎としての耐震性能の照査を実施した。

橋梁の設計は原則として道路橋示方書¹⁾に従って実施した。動的解析は橋梁単体のモデルでも実施しているが，地中構造物との動的相互作用に対して橋の安全性を確認するため，前述の橋梁－地中構造物一体の動的解析による結果を用いた照査も実施した。

4. 地中構造物縦断方向と橋梁の耐震照査

(1) 耐震照査の流れ

耐震照査の流れを図-7に示す。

専用部の地中構造物は地盤バネで支持された1本の梁要素でモデル化した。地盤バネは構造物と地盤との相対変位に対する地盤反力を算定するためのバネであり，後述する静的なFEM解析によって地中構造物の変位と作用荷重の比から算出した。

地中構造物はブロック長に相当する長さの梁要素とし，ブロック間は連結鉄筋の影響を表す非線形バネ要素を配置した。

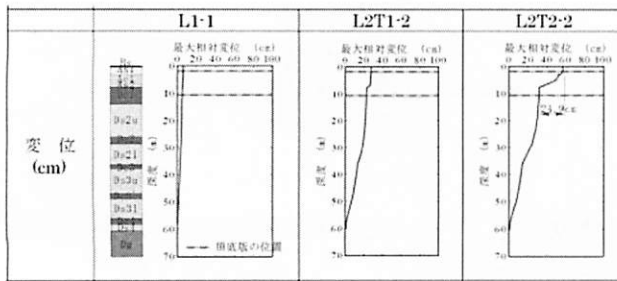


図-8 地中構造物頂・底版の最大相対変位分布図

一般部の橋梁の橋脚は、地中構造物の梁要素に剛結された梁要素としてモデル化した。橋梁の上部構造は、水平方向の梁要素として橋脚天端に設置した。上部構造と橋脚の間には支承を表すバネを設置した。

地中構造物の耐震性能照査を行う際の動的解析は、周辺地盤の地盤変位を、地中構造物を支持する地盤バネの先端に入力して実施した。地盤変位はバネの位置ごとに異なる波形であるため、解析は多点入力解析である。また、検討範囲が縦断方向に長いことから、地震動の位相差入力を考慮した解析ケースも実施した。

橋梁の耐震性能照査を行う際は、道路橋示方書¹⁾の入力地震動を地中構造物を支持する地盤バネの先端に入力して実施した。この解析は、全ての地盤バネに一律に加速度を入力して実施した。

(2) 地盤の物性値（等価剛性）の算出

地盤バネ算出用のFEM解析モデルでは、地盤の物性値として地震時の剛性低下を考慮した等価剛性を入力した。等価剛性は地盤の一次元応答解析（SHAKE）により算出した。地盤の非線形特性を示すひずみ依存特性は、外環の設計条件統一事項²⁾で設定されている値を用いた。

SHAKEによる解析結果の例を図-8に示す。レベル2地震動タイプIIにおいて最も大きく地盤が変形する結果となり、地表面の最大変位は60cm程度、地中構造物頂・底版の相対変位は20cm程度となった。

(3) 構造物―地盤間のバネ定数の算出

地中構造物縦断方向と橋梁の耐震設計に用いられるモデルの構造物―地盤間のバネは、図-9に示すような4通りの静的FEM解析を実施し、強制変位とその反力から算出した。

解析モデルは、軸方向を3次元モデル（ソリッド要素）とし、それ以外は2次元モデル（平面ひずみ要素）とした。鉛直方向のモデル化範囲は工学的基盤面のDg層より浅層とし、水平方向のモデル化範囲は構造物端部から鉛直方向のモデル寸法の3倍程

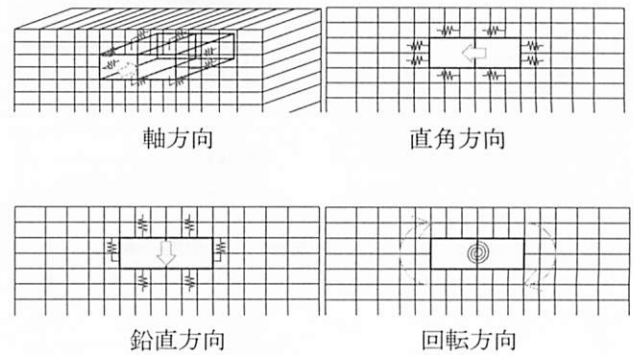


図-9 構造物―地盤間のバネ定数算出モデルと荷重方向

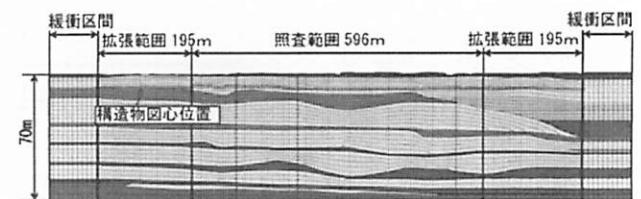


図-10 地盤の二次元FEMモデル

度とした。FEM解析モデルには置換えコンクリートや杭基礎の杭、構造物近傍のランプもモデル化した。

(4) 地盤応答変位波形の算出

地中構造物縦断方向の地震応答解析は、地中構造物モデルに地盤バネを介して地震波を入力する。設計地震動は基盤位置のものであるため、これを地中構造物の位置まで引き上げる必要がある。そこで、地表面～基盤層の範囲を土層縦断図をもとに図-10に示す二次元FEMでモデル化し、モデル底面に設計地震動を入力して等価線形化法による地震応答解析（FLUSH）を実施した。解析結果から、地中構造物位置の節点の応答波形を取り出し、地中構造物モデルへの入力波形とした。

地中構造物軸方向のモデル範囲は、照査範囲596mに拡張範囲200m程度と緩衝区間100mを前後に設けて合計1200mとした。鉛直方向のモデル範囲は、表層地盤に基盤層を含め70m程度とした。地中構造物軸方向のメッシュ分割はブロック長を考慮して5mを基本とした。側方の境界条件は水平ローラー、底面境界は波の特性（E+Fまたは2E）に応じて固定境界または粘性境界とした。照査範囲の長さから地震動による位相差の影響も無視できないため、見かけの伝播速度を1km/s²⁾として位相差を考慮した解析も実施した。

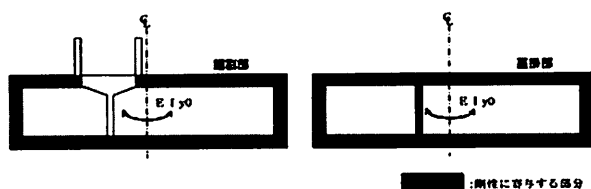


図-11 地中構造物曲げ剛性の算出方法

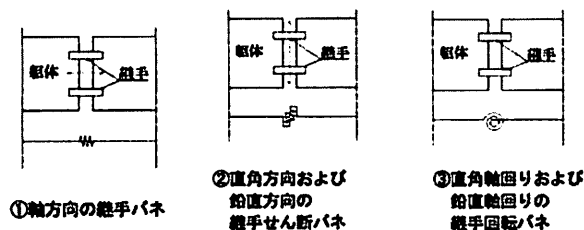


図-12 継手のモデル化

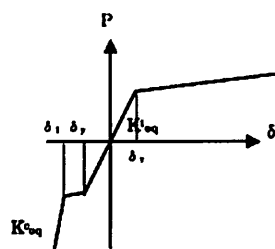


図-13 軸方向連結継手のバネ特性

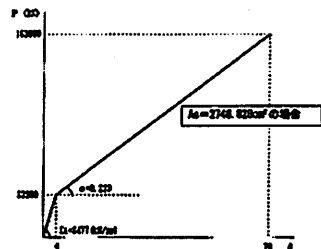


図-14 せん断方向連結継手のバネ特性

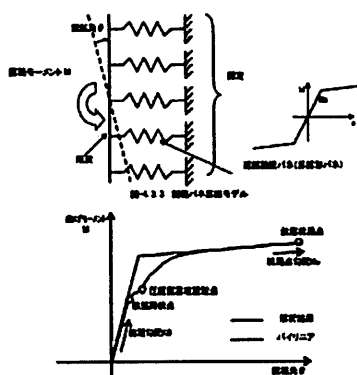


図-15 連結鉄筋の回転バネ特性

図-16 可とう継手のバネ特性

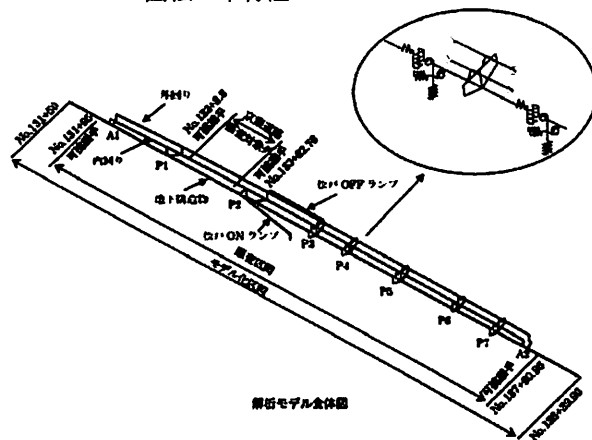


図-17 全体モデル図

(5) 地中構造物を表す梁モデル

地中構造物は、軸剛性、鉛直軸回りの曲げ剛性、直角軸回りの曲げ剛性を有する線形梁要素とした。曲げ剛性は、図-11に示すとおり躯体幅の中央部を軸とする値とし、掘割部では軸方向に連続しないストラットや中柱は無視した。

(6) 地中構造物ブロック間の連結バネ

継手は連結継手および可とう継手を配置した。連結継手のバネ要素は、軸方向バネ、直角方向および鉛直方向のせん断バネ、直角軸回りと鉛直軸回りの回転バネを図-12のとおり設定した。

軸方向のバネ特性は、図-13に示すとおり連結鉄筋の鉄筋量や材質より非線形性を考慮して設定した。

せん断バネ特性は、図-14に示す外環の設計条件統一事項²⁾より標準断面における連結鉄筋量に対する設定値が規定されているため、配置する連結鉄筋量の比率で比例換算して設定した。

回転バネは、図-15に示すように連結鉄筋を非線形の軸方向バネとして躯体断面に配置し、回転角と曲げモーメントとの関係からバイリニアとして設定した。

可とう継手は、図-16のとおりブロック間で基本的に縁が切れることになるため、開く方向にはバネ

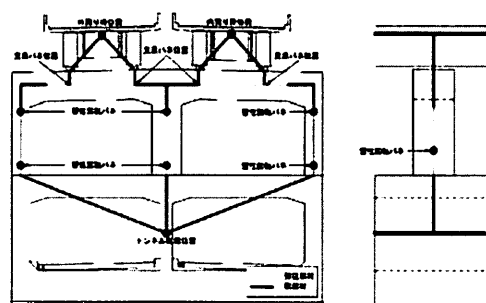


図-18 地中構造物と橋梁の一体化モデル図

値0、閉じる方向には躯体同士の接触を考慮するために剛となるようなバネ値を入力した。遊間は100mmとし、せん断方向と回転方向はフリーとした。

(7) 地中構造物－橋梁一体モデル

地中構造物と橋梁一体モデルの全体図を図-17に示す。地中構造物は、前後の地中構造物の挙動にも影響されることから照査区間に緩衝区間（前後50m程度）を追加した範囲をモデル化した。

地中構造物と橋梁の接合は、地中構造物から剛な梁要素で接続し、橋脚はラーメン式橋脚位置を例にすると、図-18のとおり橋脚の上・下端に非線形性を考慮した塑性ヒンジのバネ要素を設置した。

表-6 地中構造物の照査項目

	照査項目	判定対象
連結継手	目開き	止水性
	せん断応力	連結鉄筋
	せん断ずれ量	止水性
躯体	圧縮応力	コンクリート
	引張応力	コンクリート
	せん断力	コンクリート+主鉄筋
可とう継手	目開き	
	せん断ずれ量	

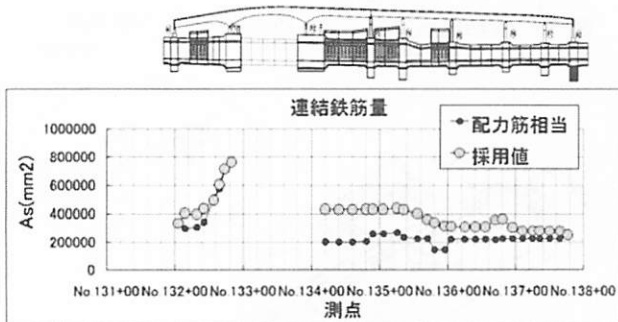


図-19 ブロック長と連結鉄筋量

(8) 地中構造物の照査結果

地中構造物の照査項目一覧を表-6に示す。

照査項目を満足しない場合には、ブロック長や連結鉄筋量を見直しながらトライアル計算を実施する。外環の設計条件統一事項²⁾により、設定可能な範囲として、ブロック長は最小5m、最大は過去の実績より20mとし、5m刻みで設定した。連結鉄筋は配力鉄筋量以上とし、最小ピッチは施工可能な寸法として300mm、最大径はD51とした。トライアル計算では、ブロック長を可能な範囲で大きくした上で可能な範囲で連結鉄筋量を増加させる方針とした。

最終的なブロック長に対する連結鉄筋量を図-19に示す。連結鉄筋量は、配力鉄筋量の2倍程度配置する箇所もあるが、概ね配力鉄筋量相当としたことで、地中構造物軸方向の鉄筋量は、概ね連続してバランス良く配置することができた。

地中構造物縦断方向の地震応答解析結果として、レベル2地震動タイプⅡの軸方向加振に対する継手目開き量の9波平均（位相差考慮も含む）に対する結果を図-20に、橋軸直角方向加振に対する同様の結果を図-21に示す。ブロック長および連結鉄筋量はトライアルで求めた最終の値である。

モデル端部で応答値が跳ね上がっているが、いずれも可とう継手を配置している箇所であるため、目開き量が大い値であっても安全性に問題はない。

連結鉄筋とした継手の目開きは許容値以下であり、耐震性能照査を満足している。

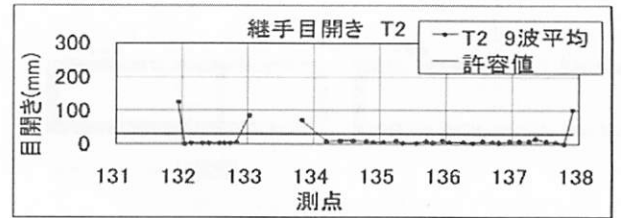


図-20 地中構造物の解析結果（軸方向加振）

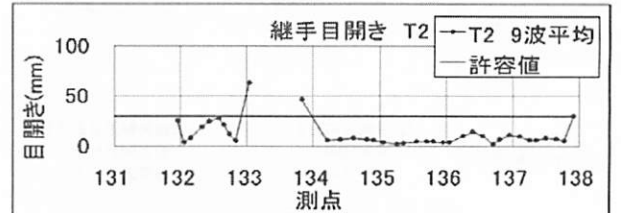
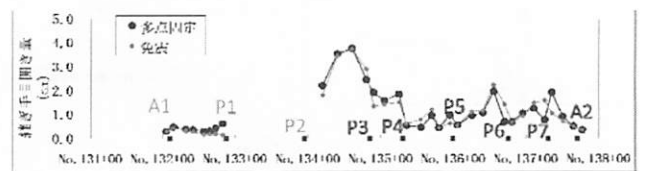
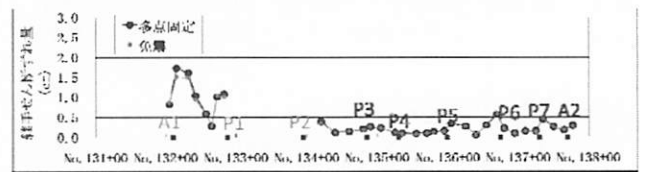


図-21 地中構造物の解析結果（直角方向加振）



継手の目開き量：橋軸方向



継手のせん断ずれ量：橋軸直角方向

図-22 支承形式の比較検討

(9) 橋梁の照査結果

橋梁の照査では、道路橋示方書¹⁾による標準波形を基本として用いるが、外環の設計条件統一事項²⁾にある地中構造物用の照査波に対しても安全性を確認した。

照査項目は橋脚の曲げおよびせん断耐力、支承の耐力および変形量とした。

支承形式については、動的解析で免震構造として検討した場合、支承の変形量が大きくなって大規模な免震構造が必要となったため、多点固定構造の採用を検討した。免震構造から多点固定構造とすることによって橋梁の慣性力が地中構造物へ大きく伝達し、地中構造物の頂版や継手部への影響は大きくなると推測される。そこで、免震構造と多点固定構造とした場合に地中構造物へ与える影響の度合いを比較検討した。図-22は橋軸方向へ加振した場合の地中構造物継手の目開き量およびせん断ずれ量を比較

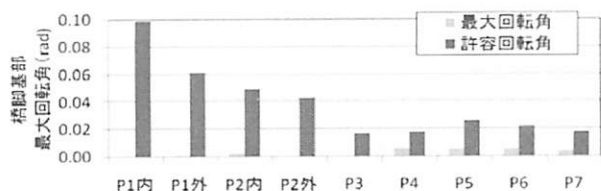


図-23 橋脚の解析結果 (軸方向加振)

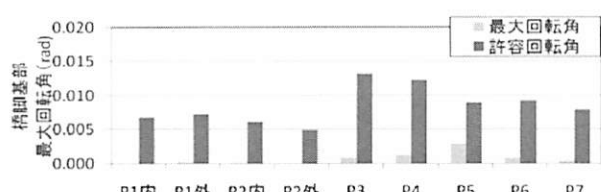


図-24 橋脚の解析結果 (直角方向加振)

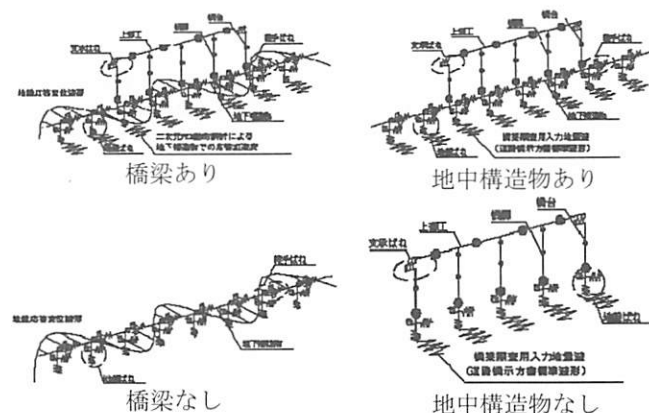


図-25 構造システムと全体挙動の把握における解析モデル

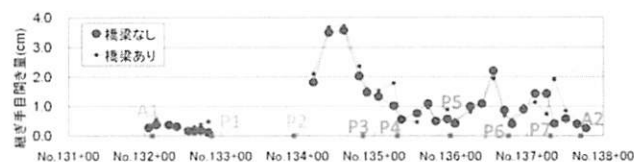


図-26 橋梁ある・なしにおける地中構造物の解析結果

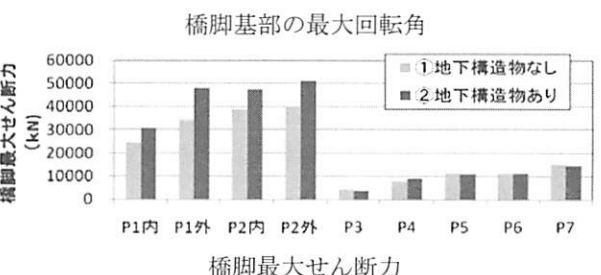
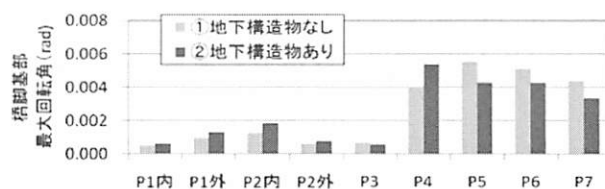


図-27 地中構造物ある・なしにおける橋梁の解析結果

(10) 構造システムと全体挙動の把握

地中構造物と橋梁の一体モデルに対して、互いの挙動に与える影響度合いを把握するために、図-25に示すモデルを使って「橋梁をあり・なしとした場合」「地中構造物をあり・なしとした場合」で解析を実施して応答値を比較した。

橋梁をあり・なしとした場合による軸方向加振のレベル2地震動タイプⅡ（位相差あり）の地中構造物の継手目開き量を図-26に示す。橋梁の影響を考慮することで、回転成分による目開き量が大きくなるが、軸引張成分による目開き量が支配的となるため、橋梁あり・なしが地中構造物継手の目開き量に与える影響は小さくなることが確認できた。

したものであるが、ピークのずれが若干あるものの、ほとんど同じ挙動を示していることが確認できた。

また、橋脚基部から地中構造物の頂版へ伝達する曲げモーメントは、多点固定構造の方が3～6割増となったが、部材厚の増加や鉄筋量を増やすことで対応が可能であり、総合的に多点固定構造の方が経済的にも有利となることから、本橋梁の支承形式は多点固定構造とした。

レベル2地震動タイプⅡにおける軸方向加振に対する橋脚基部の最大回転角および最大せん断力の照査結果を図-23に示す。同様に直角方向加振に対する橋脚基部の回転角およびせん断力の照査結果を図-24に示す。

橋脚の断面は常時設計および震度法で設定した断面であったが、いずれの照査項目に対しても許容値を満足することから、橋梁に対する耐震性能の安全性を確認することができた。また、地中構造物照査用の設計地震動でも照査を実施して耐震性能の安全性を確認することができた。

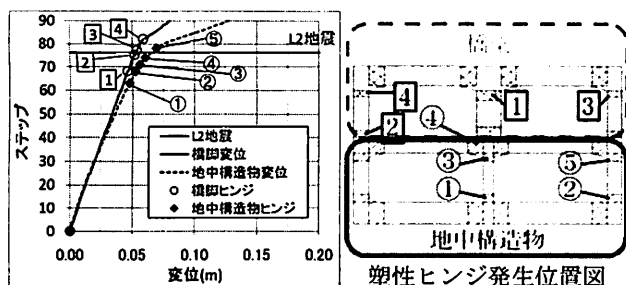


図-28 プッシュオーバー解析結果

地中構造物をあり・なしとした場合による軸方向加振のレベル2地震動タイプⅡの橋脚基部の最大せん断力を図-27に示す。どちらが大きい・小さいという傾向はなく、また、全体的に大きな違いも確認できないが、動的相互作用の影響によって橋梁の応答値は、全体として2割程度の差異が確認できた。

以上の比較検討より、互いの構造物が与える影響としては大きいものではないが、一体モデルとすることで動的相互作用の影響度合いを把握することができた。

5. 地中構造物の橋梁基礎としての耐震照査

地中構造物は橋梁と一体構造形式となるため、地中構造物としてだけでなく、橋梁基礎としても耐震性能を満足させる必要がある。

レベル1地震動に対しては、地中構造物底面をコンクリート置換で支持される「直接基礎」として、道路橋示方書³⁾に準拠して地盤反力度・滑動・転倒に対して安全性を確認した。

レベル2地震動に対しては、基礎の塑性化状況および塑性化のプロセスを把握するために、P5橋脚を代表断面として、橋脚と基礎（地中構造物）一体モデルによるプッシュオーバー解析を実施した。このプッシュオーバー解析の妥当性を判断するため、事前に地中構造物の横断方向耐震設計で実施していた動的解析における塑性化のプロセスと比較して、再現性を確認した。

図-28の解析結果より、レベル2地震時における基礎の変位については、弾性域を超えて降伏に至っている部材もあり、構造体としては降伏に近い状態である。従って、基礎は降伏に至っていると判断し、「基礎に降伏を超える塑性化を許容する設計」を適用した。そのため、基礎が降伏に至っても橋脚耐力に十分な余裕があること、基礎天端の最大回転角が許容回転角以下であることを確認して耐震性能が確保されていると判断した。

6. おわりに

地中構造物の直上に橋梁が載るという特殊な構造形式に対して、地中構造物と橋梁を一体モデルとすることで、動的相互作用の影響を考慮した各部材の応答値を算出した。互いの構造物に与える影響は大きいものではなかったが、両構造物の耐震性能照査を合理的に実施することができた。

地中構造物の耐震性能照査は、ブロック長を可能なだけ長くして継手箇所を減らすことができ、連結鉄筋は配力鉄筋量程度で十分であることが確認できた。また、地中構造物は構造物本体の耐力だけでなく橋梁基礎としても耐震性能照査を行った。

橋梁の耐震性能照査は、地中構造物との接合方式や支承条件を適切に設定した上で、耐震性能を満足するように照査を行った。

設計区間となる外環稲荷木地区の地盤条件は全体的に軟弱ではあるが、縦断方向に地質変化の少ない区間であったため、地中構造物縦断方向の設計において可とう継手の設置箇所を必要最小限に限定でき、ブロック長を最大長さの20mとできる区間も多かった。地質変化に伴う地盤の相対的な挙動の違いが地中構造物へ直接作用するため、縦断方向の地質変化の度合いによって、耐震照査の傾向が異なってくることに留意が必要である。

謝辞：東京外環自動車道稲荷木地区の技術検討会において、東京大学の前川宏一教授、西日本高速道路㈱の前田良刀技師長、国土交通省国土技術政策総合研究所の運上茂樹研究官、徳島大学の渦岡良介教授よりご指導をいただきました。ここに感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説Ⅴ耐震設計編，平成14年3月
- 2) 東日本高速道路株式会社：東京外環自動車道（千葉県区間）掘割構造物 設計条件に関する統一事項，平成22年6月
- 3) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説Ⅳ下部構造編，平成14年3月