

道路橋下部構造の新技术開発と評価の課題

中谷昌一* 竹口昌弘**

1. はじめに

道路橋下部構造における技術開発は、維持管理の軽減、耐震性の向上がトレンドのようである。前者には、維持管理上の弱点となりやすい伸縮装置や支承を省略して上部工と橋台とを一体化したインテグラルアバット橋などの橋台部ジョイントレス橋梁がある。後者には、地盤改良など補助工法を活用して基礎本体のスリム化をねらった複合地盤基礎などがある。本文では、下部構造の新技术として、インテグラルアバット橋と複合地盤基礎などを例に取り上げ、それらの技術開発と評価の現状と課題について述べる。

2. インテグラルアバット橋

2.1 技術開発の現状

インテグラルアバット橋は、維持管理上の弱点である桁端部の支承と伸縮装置を省略するために、それらが有していた機能（主に、温度変化による桁の伸縮に追従する機能）を、橋台基礎を柔構造にすることにより代替するのが特徴である。そのため、インテグラルアバット橋の橋台基礎は変形性能に優れた一列の鋼管杭基礎が基本となり、橋台部における水平方向の支持機構は、橋台背面土の受働抵抗に依存する。橋台部の支承および伸縮装置を省略した橋梁形式として、インテグラルアバット橋の他にポータルラーメン橋があるが、水平方向の支持機構が橋台堅壁および基礎の剛性により抵抗するという設計思想がインテグラルアバット橋と異なるところである。表-1にインテグラルアバット橋の特徴を、従来橋、ポータルラーメン橋と比較して示す。

インテグラルアバット橋は既に欧米で普及しており、特に米国では1930年頃に開発され、現在までに約2万橋の実績がある。また、英国では1997年に設計ガイドラインが作成され、2005年には約半数の鋼橋にインテグラルアバット橋が採

用されている¹⁾。一方、日本では、1990年代に旧日本道路公団においてインテグラルアバット橋の導入に向けた検討が行われ、15橋程度の実績を有する²⁾が、その設計法が体系的に整備されておらず広く普及するに至っていない。

2.2 課題

インテグラルアバット橋の設計施工マニュアルを整備することを目的に、(独)土木研究所では、民間4団体（鋼管杭協会、(社)プレストレスト・コンクリート建設業協会、(社)日本橋梁建設協会、(社)建設コンサルタンツ協会）とで共同研究（平成18～20年度）を実施しているところである³⁾。共同研究では、日本での実態調査に加え、インテグラルアバット橋の普及先進国である米国の実態調査を実施し、設計、施工および維持管理の実態を把握するとともに、設計施工マニュアルの整備に向けた課題を整理し、検討を進めている。以下に、主な検討課題を示す。

(1) 耐震設計

インテグラルアバット橋は、上下部一体構造であり、基本的には耐震性は優れていると考えられるが、特に橋台背面土を含む橋全体系の大規模地震時の照査法は必ずしも確立されていない。そこで、単径間（橋長30m、上部構造；鋼鈹桁）および3径間（橋長3@35m=105m、上部構造；鋼鈹桁）を対象に地盤を平面ひずみ要素でモデル化した動的解析でレベル2地震時の応答を試算した。ここで、断面寸法は常時・レベル1地震時の検討で決定したものを用いた。その結果、単径間、3径間モデルともに、橋台堅壁の隅角部（上下部結合部）の直下で塑性化するものの、その程度は軽微であることが確認された。また、基礎地盤の表層部の応答が橋全体系の応答を支配しており、橋台背面土と橋梁は一体となって挙動する傾向にあることが確認された。今後、これらの試算結果等を踏まえてレベル2地震時照査における解析手法、各部材の限界状態、照査項目、基準値等、耐震設計の基本を整理する必要がある。

(2) 橋台背面土の受働抵抗モデル

温度変化による桁の伸縮に伴い橋台縦壁が繰返し水平変位することにより、橋台背面土の天端付近には塑性変形（残留変形、沈下）が生じることが想定され、これを考慮した背面土の受働抵抗モデルを設定する必要がある。また、設計で想定するように橋台背面土の受働抵抗が地震時に発揮されるためには、背面土が安定していることが重要である。ここでは、図-1に示す範囲の橋台背面土を橋梁アプローチ構造と定義し、良質な材料（砂れき、砂で路床材としても適用可能な材料と同等以上）を用い、締固めを路床相当とすることを提案する。

(3) 結合部構造

実態調査によれば、インテグラルアバット橋の代表的な損傷事例として、橋台縦壁と桁との結合部のひび割れ、橋台背面土の沈下による橋台と踏掛版との結合部の損傷や舗装面ひび割れなどがある。これらの損傷発生を防止できる結合部の標準構造を検討する。

(4) 対称性の適用範囲

斜角、縦断勾配、支間バランスなどの非対称が大きな橋梁にインテグラルアバット橋を採用すると、温度変化に伴う桁の伸縮が供用期間中に繰り返されることにより、設計で想定しない複雑な挙動により変状が生じる恐れがある。一般に橋梁は非対称性を有することから、その許容範囲を明確にする必要がある。

3. 地盤改良を活用した複合地盤基礎

3.1 技術開発の現状

これまでに軟弱粘性土地盤や液状化の発生が懸念される地盤中の道路橋基礎に地盤改良が活用された事例はあるが、地盤改良はあくまでも補助工法として位置づけられ、地盤改良効果を構造物の設計に考慮することはなかった。最近、既設基礎の耐震補強や新設基礎のコスト縮減を目的として、地盤改良効果を基礎の設計に積極的に取り入れた新しい基礎形式（以下、複合地盤基礎という）の研究開発が多方面で行われており、一部実橋に採

表-1 橋台部ジョイントレス構造と従来橋の比較

構造形式	従来橋	橋台部ジョイントレス構造	
		ポータルラーメン橋	インテグラルアバット橋
概略図			
接続部概略図			
支承条件	有（可動/固定/弾性等）	無（剛結）	無（剛結）
伸縮装置	有	無	無
温度変化による桁伸縮への対応	遊間を確保し、支承のせん断変形性能	橋台縦壁および基礎の変形性能	柔軟な橋台杭基礎の変形性能

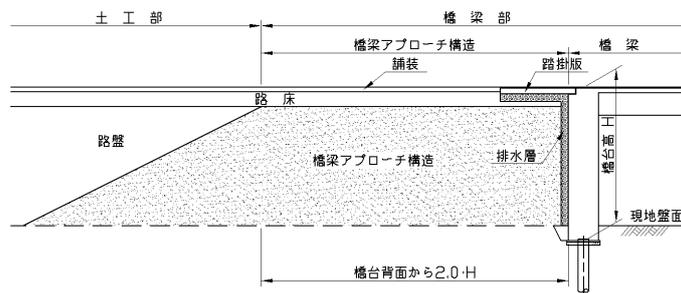


図-1 橋台部アプローチ構造

用された事例も報告されている。それらの中には、基礎周辺の軟弱地盤をある限定された範囲で地盤改良することで、あたかも「良い地盤」が無限の広がりをもつと仮定して杭基礎を設計するという考えで、あくまでも設計法は杭基礎を踏襲しているものがある。しかしながら、適切に性能設計を行うためには原点に立ち返り、有限の範囲で改良された地盤と杭との相互作用を適切に評価するとともに、特に大地震時における改良地盤に及ぶ影響評価を通じて限界状態や照査基準の設定を行うなど、新しい基礎形式として捉えた設計法の体系的な整備が必要となっている。

3.2 課題

土木研究所では、改良地盤と一体となった複合地盤基礎（図-2）の耐震性能の検証方法を整備することを目的に、図-3の研究フローに沿って検討を行っている。主な検討課題は以下のとおりである。

(1) 複合地盤基礎の定義、適用条件

対象とする基礎形式（改良地盤中の基礎、改良地盤上の基礎など）、地盤改良工法（固結工法、サンドコンパクションパイル工法、圧密工法など）および適用原地盤（軟弱粘性土、液状化地盤など）について、既往の知見、構造的、経済性等から複合地盤基礎の定義、適用条件を明確にする。

(2) 複合地盤の評価、設計

複合地盤（設計で考慮すべき改良体とその周囲の原地盤）として必要な改良範囲、改良率、改良強度などを設定するために、複合地盤の内的・外的安定に関する要求性能を整理するとともに、その検証方法（モデル、照査項目、基準値など）を検討する必要がある。また、改良体の品質（強度、均一性）のばらつき、地盤抵抗の異方性など、複合地盤に求める性能とその評価方法についての検討が必要である。

(3) 複合地盤の施工管理、品質管理

改良体の出来形（形状、寸法）、品質（強度、均一性）の管理方法と基準値を施工実績や既往の試験データなどを調査分析することにより設定する必要がある。

(4) 複合地盤基礎の水平・鉛直抵抗機構

複合地盤基礎に作用する荷重と変位の関係を把握する。特に、複合地盤と一体

となった基礎に対して、弾性挙動すると見なせる限界点や大変形時（降伏以降）の変形性能、耐荷性能を確認する必要がある。さらに、地震時の繰返し荷重に対する力学安定性（地盤反力、支持力の再現性）や大変形挙動後の力学安定性、修復性についての検討が必要である。土木研究所では、（社）コンクリートパイル建設技術協会と鋼管杭協会との共同研究で、地盤改良体と構造体の複合構造の例としてプレボーリング杭を取り上げ、大変形挙動後の水平抵抗および鉛直支持力の評価法について、載荷試験等により検討を実施しているところである。粘性土中のプレボーリング杭に対する載荷試験結果によると、水平抵抗および鉛直支持力は、初期の値に対して低下する傾向にあること、また、1ヶ月程度の放置期間では、それらが十分回復しないことが確認された⁴⁾。したがっ

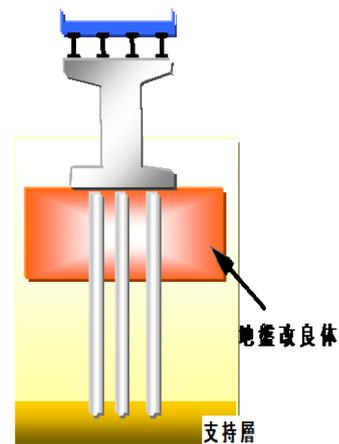


図-2 複合地盤基礎のイメージの一例

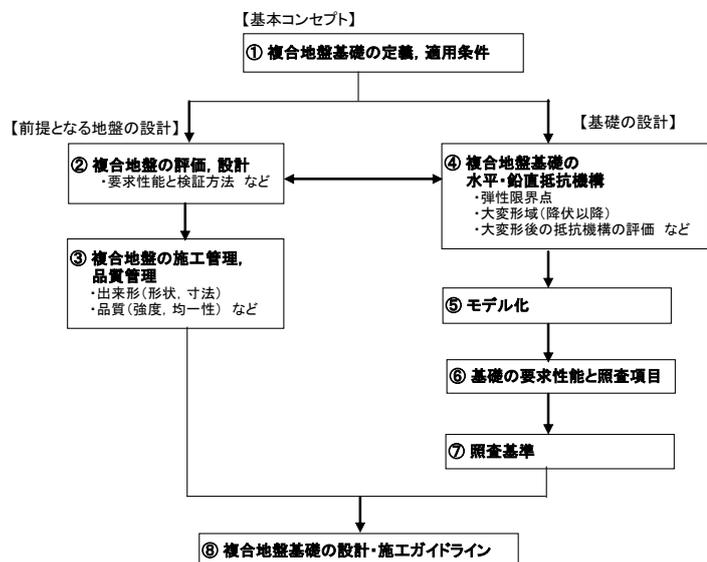


図-3 複合地盤基礎の研究フロー例

て、複合地盤基礎においても地震時の繰返し荷重や大変形挙動後の水平抵抗や鉛直支持力の評価は、慎重に行う必要がある。

(5) 要求性能と検証方法

上記(1)～(4)より、複合地盤基礎の要求性能と検証方法(応答計算モデル、照査項目、照査基準値等)を体系的に整理する。

4. その他の技術開発に関する留意事項

4.1 杭の高耐力化、高支持力化

杭基礎では、平成8年版の道路橋示方書から地震時保有水平耐力法による照査が規定されたこともあり、大径化、厚肉化、拡底化、拡頭化など、杭1本当たりの支持力や耐力、剛性を上げることにより、杭本数を減らしてコスト縮減を目指す傾向にある。しかし、杭1本あたりの耐力を向上させた結果、杭頭とフーチングとの結合部の設計が厳しくなる。このため、施工性が劣り、結合部の品質確保の観点から採用が控えられていた杭外周への鉄筋溶接による補強構造が、何ら改良されることなく採用されることが常態化している。このような現状を受けて、土木研究所では、(社)コンクリートパイル建設技術協会と鋼管杭協会との共同研究で、鉄筋溶接に代わる新しい杭頭結合方法の開発に向けて、使用材料の高強度化や耐力評価法の合理化などについて検討しているところである。

4.2 橋台背面土の軽量化

軟弱地盤や液状化の発生が懸念される地盤上に橋台を構築する場合、常時の側方移動対策や地震時土圧の軽減対策として、橋台背面土を気泡混合軽量土やEPS等の超軽量材を用いる事例がみられる。計算上は、橋台背面土の軽量化により基礎への負担が減少し、基礎の規模および躯体寸法を小さくできることからコスト縮減が期待できる。しかしながら、安易にこのような工法を採用することは、橋台および基礎の剛性が通常に比べて低くなり、軽量盛土の背後地盤や基礎地盤の全体的な移動に対して十分な剛性が確保できず、設計で想定した挙動と異なる大きな挙動が生じる可能性がある。最近の大規模地震事後に橋台が前方に移動した事例をみると、背面に軽量盛土を採用した橋台が数例報告されている。橋台背面に軽量盛土を

用いた場合の橋台基礎の地震時の照査法が確立しているとは言い難いので、その採用にあたっては、個別に十分に検討し慎重に対応することが求められている。

5. まとめ

道路予算が削減され、今後、道路橋ストックが本格的な高齢化時代に入っていく中、本文で取り上げたインテグラルアバット橋や複合地盤基礎など新技術の早期実用化が望まれる。これら新技術の具体の工法、詳細な構造などは民間の創意工夫に委ねられるが、その際にそれらが越えるべきハードルが何であるかを明確にするためにも、要求性能、検証方法(モデル、照査項目、基準値)をマニュアルとして体系的に整備することが急務である。

参考文献

- 1) David C Iles: Integral Bridges in the UK, International Workshop on the Bridges with Integral Abutments, Technical Report 06:14, Lulea University of Technology, pp.13-24, 2006
- 2) たとえば、高橋：インテグラルアバットのPC橋への適用、プレストレスト・コンクリート技術協会第4回シンポジウム論文集、pp.441-446、1994.
- 3) (独)土木研究所、鋼管杭協会、(社)プレストレスト・コンクリート建設業協会、(社)日本橋梁建設協会、(社)建設コンサルタンツ協会：橋台部ジョイントレス構造の設計法に関する共同研究報告書(その1)、2007
- 4) 鳥畑ほか：杭基礎の大変形挙動後における支持力特性に関する研究(その1)～(その3)、土木学会全国大会第63回年次学術講演会論文集(投稿中)、2008

中谷昌一*



独立行政法人土木研究所
構造物メンテナンス研究
センター橋梁構造研究グ
ループ上席研究員
Shoichi NAKATANI

竹口昌弘**



本州四国連絡高速道路榑
長大橋技術センター耐
震・基礎グループサブ
リーダー(前 独立行政
法人土木研究所構造物研
究グループ基礎チーム主
任研究員)
Masahiro TAKEGUCHI