論文 断層変位を受けるコンクリート連続桁橋の耐震対策案について

成富 勝*1・武林 和彦*2・管谷 晃彦*3・大塚 久哲*4

要旨: P C 連続桁橋において, 3 種類の異なった橋種における静的非線形解析を行い, 地震 時挙動の確認と耐震対策の検討を行った。その結果, 耐震対策として簡易評価図表による橋 種選定方法の提案, 構造的に弱点となる部位にはじん性向上を配慮することや, 地震時発生 曲げモーメントの低減, あるいは発生曲げモーメントに抵抗する地震時構造系変化案などを 考案した。

キーワード: 耐震対策, 断層変位, 簡易評価法, じん性の向上, 地震時構造系変化

1. はじめに

我が国では兵庫県南部地震発生以後、土木構造物の耐震対策規準等が見直しされているが、 断層変位に関する対策は未だ橋梁には施されていないのが現状である。

1999 年のトルココジャエリ地震, 1999 年の台湾集集地震などで生じた土木構造物に多大な被害を及ぼす地震時の断層変位を考慮した橋梁計画も必要である。

本論文では、断層変位に対する耐震対策案を 検討するに当たり、まずコンクリート連続橋の 地震時挙動を明確にしておく必要があるため、 各種連続桁橋モデルに対して断層変位を想定し た静的非線形解析を実施した。さらに、コンク リート連続桁橋の耐震対策案を提案した。

2. 解析の概要

(1) 連続桁橋と解析結果

図-1に解析モデル対象橋梁の諸元,および参考として,図-2に材料非線形モデルの曲率ー曲げモーメント概略図を示す。なお、図-2(b)において、下部構造の負側は正側と対称形であることから省略した.

また、図-3に断層の種類と変位入力方向の関係を示す。解析では、橋軸直角方向変位Yは「ずれ断層」として、橋軸方向X(+)と鉛直方向Z(-)の関係、および、橋軸方向X(-)と鉛直方向Z(+)の関係は各々「正断層」「逆断層」として想定した。

A橋(PC6 径間連続合成桁橋), B橋(PC3 径間連結プ レテンション方式中空床版橋), および, C 橋(PC7 径間連続場所打中空床版)の3種類の 連続桁橋モデルにおける, 断層変位挙動を想定 した静的非線形解析結果から, 以下の所見を得 た。

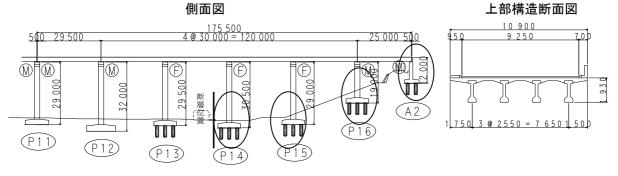
a)損傷を受ける部位の断面力は、軸力やせん 断力より曲げモーメントが支配的である。

b)橋脚高が高い程,断層変位に対して有利で ある。

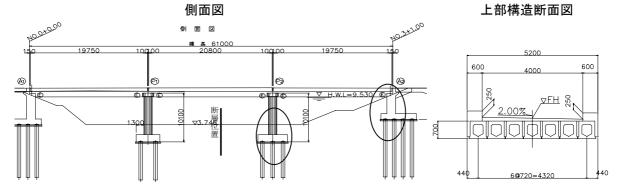
c)断層位置を介して橋脚相互に相対的な鉛直 方向変位を生じる場合では、上部構造が下部構 造より先に大きく損傷を受ける。

d) B タイプ沓(今回は水平力分散沓)が用いられている C 橋では、水平橋軸・鉛直方向断層変位に対して、支承部より先に橋脚・上部構造が終局に至った。

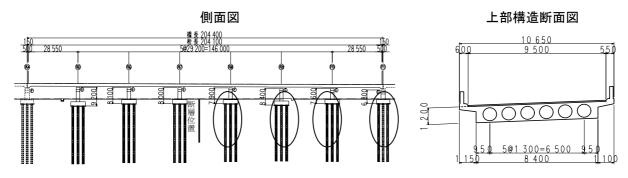
- *1 九州共立大学 工学部 地域環境システム工学科 工博(正会員)
- *2 中央コンサルタンツ㈱ 福岡支店 設計部 (正会員)
- *3 ㈱富士ピー・エス 福岡支店 技術部
- *4 九州大学大学院 工学研究院 建設デザイン部門 工博(正会員)



(a) A橋 (PC6 径間連続合成桁橋)



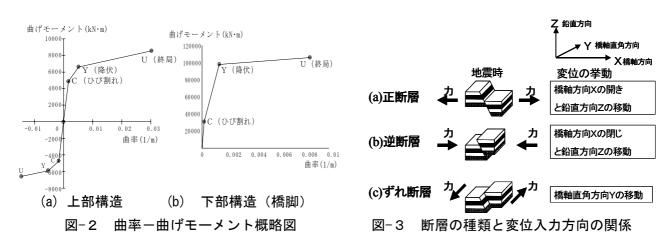
(b) B橋 (PC3 径間連結方式中空床版橋)



(c) C橋(PC7径間連続場所打中空床版橋)

※ で囲んだ橋脚基部(フーチング下端)を変位させる。

図-1 解析対象橋梁諸元図



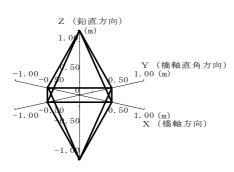
e)上部構造・橋脚に着目し、断層変位挙動に 対する耐震性能を高いほうから順に示すとA橋、 B橋、最後にC橋の順となった。

(2) 耐震性能に関する簡易評価図

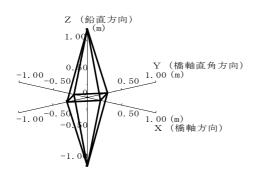
橋梁の種類は、PC 橋・鋼橋および複合構造橋 梁等様々であり、各橋種における耐震性能評価 方法として簡易評価図法を提案する。図-4に解 析結果を用いた部材降伏時における簡易評価図 (案)を示す。

橋梁の耐震性能を評価するには、上部・下部構造はもとより、支承・落橋防止構造等付属物の耐震機能も考慮する必要がある。すなわち、X軸、Y軸方向は下部構造の降伏変位を、Z軸方向は上部構造の降伏変位を示す。しかし、すべての構造を検討対象とすれば、結果が煩雑になるばかりでなく橋種に対する評価も不明確なものとなるため、以下に示す例では付属物等を除く上部・下部構造のみ性能評価対象とした。

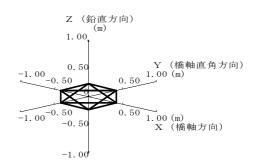
図-4において8面体形状寸法の大きさが断層変位耐震性能を示し、前項に示した解析結果からの所見e)である「耐震性能の高さはA,B,C橋の順となる」ことが分かる。



(a) A橋(降伏時)



(b) B橋(降伏時)



(c) C橋(降伏時) 図-4 簡易評価図(案)

なお、図-4のX(橋軸)方向とY(橋軸直角)方向の水平変位性能は下部構造の脚とフーチング付け根部において、Z(鉛直)方向の変位性能は上部構造において、発生曲げモーメントの部材抵抗曲げモーメントに対する照査を行った結果から、橋梁の断層変位性能を評価したものである。

3. 耐震対策案

(1) 簡易評価図を用いた橋種の選定

橋梁架設計画においては、地震ハザードマップ等の使用により事前に断層位置の確認や過去の地震規模の調査を行い、橋梁設計に適切な地震対策を配慮する必要がある。

米国では、架設する橋梁ごとの重要度や架設する地域の活断層規模(サイト特性)に応じて、耐震対策が考慮された設計がなされている³⁾。

前項 2.(2)に示したような, 簡易評価図の利用による地震規模に対する適切な橋種の選定も耐震対策の一つといえる。

以降は、「適切な橋種の選定」のほかに、PC 連続桁橋を対象とした断層変位に対するいくつ かの耐震対策について提案する。

(2) じん性の向上

予め橋梁の断層変位に対し弱点となる部位の じん性を高めておく対策案が考えられる。

A, B, C橋解析結果のうち, 比較的耐震性能の低いC橋を例に対策案を示す。図-5に,図

-1(c)に示した断層位置における()で囲まれた 橋脚基部の,鉛直方向上向き変位による上部構造の発生曲げモーメント分布図を示す。

図-5 中に示す↑方向の鉛直変位量が増加するにしたがい、断層位置に最も近い左右の上部構造支点位置において正・負曲げモーメントが卓越し、鉛直変位 0.4m 程度で降伏している。

図-6に示すように断層位置左右の支点位置 付近における上部構造のじん性を高めることで、 断層変位に対し有利な構造になると考えられる。

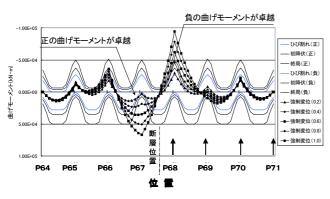


図-5 C橋の発生曲げモーメント

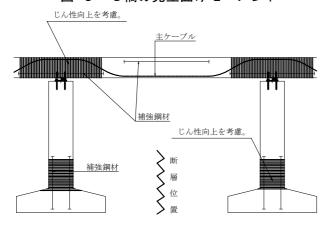


図-6 断層変位対策案 1

(3) 地震時の構造系変化

地震動には、水平地震動はもとより鉛直変位 をともなう地盤の断層変位挙動がある。

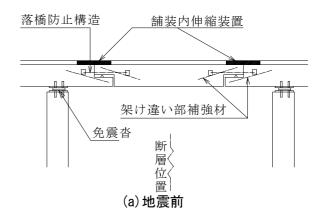
橋梁の任意径間に断層位置がある場合,図-5に示したように断層位置左右の上部構造支点位置付近で正・負曲げモーメントが卓越する。したがって,連続桁橋における断層変位対策については,地震時に上部構造が連続化から単純化に近い構造に変化でき,且つ,落橋防止機能

が保てればよいと考えられる。

単純化に近い構造とは、着目する上部構造支 点位置において、地震時にせん断力は左右径間 で伝達するが曲げモーメントは伝達しない構造 を意図する、いわゆるヒンジ構造と考える。

連続桁橋としての利点については、「橋面の 連続性により走行性がよく、騒音公害等が軽減 されること」、「中間支点での橋体の連続性によ り落橋防止機能があり、多径間単純桁橋にくら ベ水平地震動に対する耐震性能が高いこと」が 挙げられる。

図-7は、地震時に構造系が変化する主桁分離位置(ゲルバーヒンジ部)へ供用時の橋面連続性を考慮した舗装内伸縮装置を、および耐震機能として落橋防止構造(油圧ダンパー付き)と免震沓の設置を提案したものである。断層変位に対してはゲルバーヒンジ部の主桁分離により図-7(b)に示すように鉛直方向変位に追随できる構造とする。



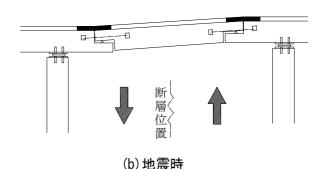
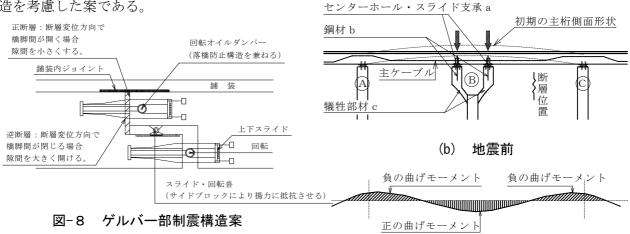


図-7 断層変位対策案2

参考のため, **図-8** にゲルバーヒンジ部の構造 案を示す。 ヒンジ部の常時・地震時における橋軸方向変位, および断層変位による鉛直方向変位をともなうヒンジ支点の回転に対して, 回転オイルダンパーの伸縮・回転機能, およびスライド回転支承により対処する。また, ゲルバー桁の落橋防止機能は回転オイルダンパーに機能併用する。

水平地震動と断層変位に対する制震・免震構造を考慮した案である。



状態1:プレストレス

破壊 1

破壊 2

1111111

(B)

(a) 地震時

PC鋼材による抵抗

矢印 B

(4) 犠牲部材の活用

予め地震時に主部材の致命的な破壊を免れるように、犠牲的な構造・部材を配置しておく案である。米国では、鋼製橋脚の主部材である支柱に、犠牲部材として小さい耐荷力の横梁を配置し、橋軸直角方向地震動に対して主部材の破壊を免れる配慮がなされた例もある³⁾。

C橋解析結果である図-5の鉛直変位による 発生曲げモーメント分布性状を考慮して、図-9に犠牲部材配置構造(案)を示す。

図-9(a)に示すように、地震時には主桁の変形、反力の移行などからB橋脚上支点を構成する犠牲部材が破壊する構造である。

上部構造の施工時には、図-9(b)に示すように、予め破線で示すように主桁側面を凸形状に製作し、鋼材bを緊張・定着することにより、図-9(c)に示す曲げモーメントを発生させる。この発生した曲げモーメントにより、B橋脚付近で主ケーブルの主桁下縁側に沿った配置が可能となり(図-9(a)状態1)、プレストレス等により地震時発生曲げモーメントに抵抗する。

(c) 施工時の発生曲げモーメント 図-9 犠牲部材配置構造(案)

状態2:鋼材bの切断

層位置

下部構造が分離

矢印 A

さらに、地震時に鋼材 b を切断することで(図-9 (a) 状態 2)、図中矢印 B の方向に施工時に与えた上部構造変位が戻り、図-9 (c) の施工時に発生させた曲げモーメントとは逆の曲げモーメントが作用し、地震力に対して抵抗する構造である。

ただし、図-9に示した案では、破壊後の犠牲部材等による2次的災害が発生しないように配慮する必要があり、また、過去の地震記録・現地調査などから、地震時挙動を特定できる場合に提案できるものと考える。

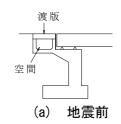
(5) 復旧を考慮した耐震構造

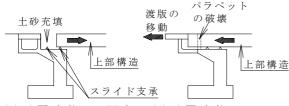
図-10 には、復旧を考慮した橋台部の耐震構造案を示す。

地震時上部構造変位に対して、橋台と主桁端 部間(遊間)の開きに対しては、橋座幅を広く して上部構造けたかかり部を長くし、また、遊 間の閉じに対しては、パラペット背面に空間を 設けて上部構造変位を吸収できる構造とする。

遊間の開きに対する早期復旧としては、土砂等の遊間への投入により、閉じに対しては、パラペット背面の渡版の移動により、被災後も早期に車両通行できる構造とする案である。

橋梁の重要度にともなう耐震設計規準,耐震対策では、図-10 に示す早期復旧への配慮も必要であると考える。





(b) 地震時遊間の開き (c) 地震時遊間の閉じ 図-10 橋台部早期復旧構造

4. 耐震設計規準案についての考察

明確化された地震地域特性(サイトマップ)から橋梁耐震性能の要求レベルに応じて、PC 橋種の選定、パラストレッシングシステム化された高耐震構造計画とするなど、断層変位を考慮した橋梁計画は多種・多様になるものと推測される。

耐震設計規準には、橋梁の重要度・サイト特性・耐震対策を考慮した耐震補強構造に関するものに、さらに被災した橋梁の復旧に関しても計画する配慮が必要である。米国の耐震設計規準では、地震規模と重要度が考慮された対象地震レベルに対する要求性能として、具体的に交通開放時期や補修・補強期間などの復旧対策基準が設けられていて、さらに断層破壊に対する基準も示されている³⁾。

予め橋梁設計時に,地震後復旧対策も検討し, 耐震設計規準も要求性能レベルに応じた復旧対 策を明記する必要があると考えられる。

5. おわり**に**

今回は、限られた橋種数の解析結果および関係する文献をもとに、連続桁橋の耐震性能の確認から地震対策案等の検討を行った。地域特性に応じ断層変位を考慮した耐震性能・要求レベル等が明確化された後も、要求レベルに応じた橋種選定データの作成や有効な耐震対策の提案・開発など残された課題は多い。本研究が今後のさらなる研究の一助となれば幸いである。

謝辞

本論文を作成するにあたり、日本コンクリート工学協会(九州支部)「断層変位を受けるコンクリート系橋梁の耐震安全性に関する研究専門委員会」での議論が有益であった。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- 1) 佐藤清隆,前田憲二:地震動予測地図(地震危険度マップ)の作成,土木学会誌,2002,12, Vol.87,pp.17,18
- 2) 中尾, 日下部, 村越, 田村: 地震ハザードマップの作成手法の開発, 土木技術資料44-8(2002), pp.42~47
- 3) 金治英貞:米国の長大橋耐震補強と地震応 答修正装置(SRMD)試験,土木学会第5回地震 時保有耐力法に基づく橋梁の耐震設計に関す るシンポジウム講演論文集,2002年1月
- 4) 道路橋示方書・同解説, 平成14年3月
- 5)(社)プレストレストコンクリート技術協会: PC 構造物耐震設計規準(案), 平成11年12月