# 論文 断層変位を受けるコンクリート連続桁橋の安全性に関する研究

田中 智行\*1・三井 欣二\*2・北台 修一\*3・大塚 久哲\*4

**要旨**: 我が国では 1995 年の兵庫県南部地震を契機に,橋梁の耐震性能を確保するように設計 手法が改善されている。しかし,断層変位による橋梁の被害形態を推定するための解析・実験 データが少ないのが現状である。本論文では既設の連続桁橋(支間長 20~30m 程度, 3~7 径間)を対象に,断層変位を受ける場合の解析を行った。その結果,断層変位 0.2~1.0m で 上部構造もしくは下部構造が損傷を受けることが分かった。また,橋脚高さや上部構造の特 徴が耐震性能に影響を及ぼすことも分かった。

キーワード:断層変位,PC連続桁橋,非線形静的解析,強制変位入力

#### 1. はじめに

1999年9月21日に発生した台湾集集地震は, 数多くの構造物に多大な被害を与えた。橋梁に 関する被害の多くは,数メートルの地盤変位を 受け,上部構造が落橋したものであった。

そうした断層運動による地盤変位が予想され る場合,可能な限り構造物を構築することを避 けるべきであると考えられる。しかしながら橋 梁においては,道路施設の連続性,国内におけ る数百の断層の存在,断層が地表に現れた場合, その断層帯の破壊域が広域であるといった理由 から,断層上に橋梁を架設せざるを得ない場合 も少なくないにもかかわらず,国内では設計時 に断層変位を考慮する義務はないのが実情であ る。

本論文は,国内に存在する PC 連続桁橋を3橋

選定し,断層変位に対する安全性の検討を行っ た結果を述べたものである。具体的にはスパン や橋脚高さ,適用基準が異なる既設橋梁に対し, 断層変位量や方向,断層発生位置をパラメータ に,発生する力学的イベントを数値的に明らか にすべく静的非線形解析を行ったものである。

- 2. 対象橋梁と解析手法
- 2.1 対象橋梁

対象橋梁は、以下に示す項目に着目し表-1 に示す3橋とした。

- (1)適用示方書:昭和 55 年,平成 8 年道路橋 示方書
- (2) 支間長: 20m, 30m 程度
- (3) 橋脚高さ:10m, 20m 程度
- (4) 上部構造形式の違い

概要図を図-1~3に示す。

	A 橋	B 橋	C 橋	
構造形式	PC6 径間連続合成桁橋	PC3 径間連結プレテン床版橋	PC7 径間連続中空床版橋	
適用示方書	昭和 55 年道路橋示方書 平成 8 年道路橋示方書		平成8年道路橋示方書	
橋長	175.500m	61.000m	204. 400m	
支間長	29.5+4@30.0+25.0m	19.2+20.2+19.2m	28.55+5@29.20+28.55m	
有効幅員	9.25m	4.00m	9.50m	
橋脚高	19.0~32.0m	10.10m	6.8∼9.2m	
地盤種別 1,2種地盤		2種地盤	3種地盤	

表-1 対象橋梁一覧

\*1 中央コンサルタンツ(株) 福岡支店 設計部 工修(正会員)

\*2 (株) 富士ピー・エス 福岡支店技術部

\*3 日本技術開発(株) 福岡支店道路·構造室

\*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)



# 2.2 解析手法

(1) 解析手法

解析手法を以下に示す。

a)対象橋梁に対して断層変位を考慮した強 制変位入力による非線形静的解析(1方向変 位増分解析)を行う。

b)上部構造に関しては,橋軸方向は非線形 部材,橋軸直角方向は線形部材とする。

c)下部構造は橋脚のみ非線形部材,橋台は 線形部材とする。

d) 非線形部材は、初期軸力を考慮して Mφモデルとする。非線形部材は、最外縁のコ ンクリートが曲げ引張強度に達した時をひび 割れ時、最外縁の鉄筋が降伏ひずみ(引張) に達した時を降伏時、最外縁軸方向鉄筋位置 のコンクリートが終局ひずみ(圧縮)に達し た時を終局時とした。

e) 基礎構造に関しては,地盤を考慮した線 形ばねとする。ただし,変位入力箇所は基礎 ばねを無視する。

f) 支承はA橋がタイプAのゴム支承, B, C橋がタイプBのゴム支承である。<sup>3)</sup>支承は線 形ばねとし,支承破断後は検討を行っていな い。

# (2) 解析モデル

**図**-4~6にA橋~C橋の解析モデルを示す。 また,**図**-7に上部構造,橋脚のM-φ曲線を 示す。



# (3) 解析ケース

想定する断層変位は端径間部および中央径間 部に発生するとし,断層変位入力方向は橋軸方 向,鉛直方向(上下)方向,橋軸直角方向とし た。

		中央径間部		端径間部
橋軸方向		$\leftarrow \rightarrow$		$\leftarrow \rightarrow$
鉛直方向		$\downarrow$ $\uparrow$		$\downarrow$ $\uparrow$ , $\uparrow$ $\downarrow$
橋軸直角方向		$\uparrow \downarrow$		$\uparrow \downarrow$
ケース数		3ケ	ース 4ケース	
ケース	断層の	場所	変位方向	
1	- 端径間部		橋軸方向 <sup>※1</sup>	
2			鉛直上方向	
3			鉛直下方向	
4			橋軸直角方向	
5	中央径間部		橋軸方向	
6			鉛直上方向※2	
7			橋軸直角方向	

表-2 検討ケース一覧

※1 A橋は、両端部が可動支承であるためケース1を除いた。※2 A橋は鉛直下方向。

# 3. 解析結果

中央径間に断層が発生する場合(ケース5~7)の解析結果について報告する。

- 3.1 A橋
- (1) 橋軸方向断層変位(ケース5)

A橋のケース5(橋軸方向)における P13橋 脚の曲げモーメント耐力と発生曲げモーメント を図-8に、図-9に支承の耐力と発生水平力を 示す。橋脚基部の発生曲げモーメントに着目す ると、水平変位 0.07m でひびわれ耐力、0.50m で降伏耐力、1.00m で終局耐力を超えている。 なお、橋脚の発生せん断力は水平変位 1.00m が 生じてもせん断耐力を超えず、上部構造の発生 断面力は許容耐力を超えなかった。



支承の耐力はアンカーバーのせん断耐力に支配されるが, P13 橋脚上において水平変位 0.50mでアンカーバーの耐力を超えている。



# (2) 橋軸鉛直下方向断層変位(ケース6)

図-10 にケース6(鉛直下方向)における上 部構造の曲げモーメント耐力と発生曲げモーメ ントを示す。P13 橋脚付近の主桁下縁側におい て,鉛直変位0.50mで降伏耐力を超え,鉛直変 位1.20m 程度で終局耐力を超えると思われる。 また,橋脚の発生せん断力はせん断耐力を超え なかった。なお,橋脚,支承に関しては,発生 断面力は降伏耐力,圧縮耐力を超えなかった。



生曲げモーメントの関係

(3) 橋軸直角方向断層変位(ケース7)

ケース7(橋軸直角水平方向変位)における P13橋脚の曲げモーメント耐力と発生曲げモー メントを図-11に,図-12に支承の耐力と発生 水平力を示す。橋脚基部の発生曲げモーメント に着目すると,水平変位0.25mでひびわれ耐力, 0.70mで降伏耐力を超えている。1.20m程度で終 局耐力を超えると思われる。なお,橋脚の発生 せん断力は水平変位1.00mが生じてもせん断耐 力を超えず,上部構造に関して発生断面力は許 容耐力を超えなかった。



支承の耐力はアンカーバーのせん断耐力に支 配されるが、P13、14 橋脚上において水平変位 0.50mで支承の耐力を超えている。



#### 3.2 B橋

# (1) 橋軸直角方向断層変位(ケース5)

**図-13**にケース5におけるP1及びP2橋脚の 曲げ耐力と発生曲げモーメント分布図を示す。 P1 及び P2 橋脚とも基部に曲げモーメントが発 生するが,水平変位 0.10m でひびわれ耐力,水 平変位 0.20m で降伏耐力を超える結果となった。 橋脚のせん断力及び上部構造に関しては,断層 変位が 0.50m までであれば,ひびわれにも至っ ていない結果となった。

#### (2) 橋軸直角方向断層変位(ケース7)

図-14 にケース7 における P1 及び P2 橋脚の 曲げ耐力と発生曲げモーメント分布図を示す。 P1 橋脚については,水平変位 0.40m でひびわれ 耐力, 0.50m で降伏耐力を超えるが, P2 橋脚は 水平変位 0.20m でひび割れ耐力, 0.30m で降伏 耐力を超える結果となった。

橋脚のせん断力及び上部構造に関しては、断 層変位が 0.50m までであれば、ひびわれにも至 っていない結果となった。







#### 3.3 C橋

# (1) 橋軸方向断層変位(ケース5)

他橋脚に比べ最も大きな橋脚基部断面力を示 した P68 橋脚について,図-15 に曲げ耐力と発 生曲げモーメント分布とせん断耐力と発生せん 断力の分布を示す。

P68 橋脚の基部曲げモーメントは,水平変位 0.20m 到達前でひびわれ耐力を上回り,水平変 位 0.40m 程度で終局耐力に近い値を示した。一 方,せん断力は,水平変位 0.80m 程度で発生せ ん断力がせん断耐力の値を上回る結果となった。



## (2) 橋軸鉛直方向断層変位(ケース6)

上部構造における,曲げ耐力と発生曲げモー メントの分布を図-16に示す。断層位置に近い P67 橋脚上支点付近において正の発生曲げモー メントが,および P68 橋脚上支点位置の負の発 生曲げモーメントが,鉛直変位量 0.20mのとき にひび割れ耐力に近い値を示し,断層変位量 0.40m のときにはすでに発生曲げモーメントが 終局耐力を超える結果となった。

図-17 に上部構造のせん断耐力と発生せん 断力分布を示す。P67 橋脚上支点付近では,断 層変位量 0.20m 程度を超えると発生せん断力が せん断耐力を超える結果となった。また,図-17 から,断層変位 0.60m 程度では,P66 からP68 橋脚間の 2 径間におけるせん断力の分布曲線形 状はほぼ 1 直線となり,P66 橋脚上とP68 橋脚 上を支点とした単径間のせん断力分布に近い形 状になったことが分かる。



#### (3) 橋軸直角方向断層変位(ケース7)

他橋脚に比べ橋脚基部に最も大きな断面力を 示した P67 橋脚について,図-18 に曲げ耐力と 発生曲げモーメント分布とせん断耐力と発生せ ん断力の分布を示す。

P67 橋脚の基部において曲げモーメントが, 水平変位 0.20m 到達前でひびわれ耐力を,水平 変位 0.40m 到達前で初降伏・終局耐力を超えた。 一方,せん断力については,水平変位 0.80 では 発生せん断力がせん断耐力を下回っているが, 水平変位 1.00m のときにはすでに発生せん断力 がせん断耐力を上回る結果となった。



# 3.4 まとめ

今回の解析結果について以下のように考察する。

# (1) 解析結果について

PC連続桁橋の静的非線形解析を行った結果 についてまとめると,以下のとおりである。

a) 損傷を受ける部位の断面力は,軸力やせん断力よりも曲げモーメントが支配的であった。

b) 橋軸方向および橋軸直角方向の水平変位 を受ける場合では,橋脚基部が大きく損傷を受 け水平方向変位 0.20~0.50m程度で終局に至 った。また,橋脚高さの違いによる耐震性能に ついては,橋脚高が高いほど断層変位に対して 有利であることが分かった。これは,断層変位 が生じた場合,橋脚高さが高いほど,橋脚基部 に発生する回転角が小さくなり,損傷が小さく なったためと考えられる。

c) 鉛直方向の変位を受ける場合では、上部 構造が大きく損傷を受け鉛直方向変位 0.20~ 1.00m程度で終局に至る結果となった。上部構 造について、断層変位に対する耐震性能を高い 方から示すとA, B, 最後にC橋の順であると いえる。

d) タイプA支承が用いられているA橋では、 支承耐力はアンカーバーのせん断耐荷力に支配 され、橋軸・橋軸直角方向の水平変位 0.50m で 支承耐力を超える結果となった。

#### (2) 橋種の違いにおける耐震性能について

上部構造の桁高はA橋が最も高く,C橋,B 橋の順に低くなっており,部材剛性も同様の順 になっていると考えられる。しかしながら,C 橋が終局に到る時の断層変位量は他に比べ小さ い。

C橋の鉛直断層変位に対する耐震性能が低い 理由は,PC材配置が常時荷重に対してのみ配置 された構造のため,断層変位を受けて発生する 中間支点付近の正曲げ応力に対しプレストレス の作用方向が同方向となり,部材の圧縮・引張 応力が他の橋種に比べて極端に大きくなり,耐 荷力不足が著しくなったものと考える。

(3)橋脚高さの違いにおける耐震性能について

幅員が同程度であるA橋(10.900m)とC橋 (10.650m)に着目する。C橋では,終局時の水平 変位量が 0.4m 程度であるが,A橋では,0.5m 程度であった。断層が端径間に発生した場合の 解析結果も総合すると,橋脚が高いほど断層変 位に追随し,耐震性能も高くなるものと考えら れる。

#### 4.おわりに

今回は、3橋の解析結果および参考文献をも とに、連続桁橋の断層変位に対する耐震性能の 確認を行った。その結果 0.2m~1.0m 程度の断層 変位量で、上部構造、下部構造もしくは支承が 損傷を受ける結果となった。しかし、台湾集集 地震で生じた断層変位は7m とも言われ、PC 連 続桁橋がこのような断層変位を受けた場合、橋 梁の損傷、落橋する可能性が高いと考えられる。 よって、橋梁の耐震補強、落橋防止システムの 再構築等何らかの対策が必要と考えられる。

今回の検討は3橋のみを対象としており,断 層変位に対する連続桁橋の耐震安全性を確保す るには,今後さらなるケーススタディと他橋種 を含む橋種選定の検討,さらに耐震対策の検討 も必要と考えられる。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。

なお、本研究は JCI 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 研究委員会」の活動の一部として行ったもので ある。

## 参考文献

1)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委員会,大塚久哲,矢 葺亘ほか:同委員会報告書,平成14年11月,

(社)日本コンクリート工学協会・九州支部

- 2)高原,大塚,矢葺,:断層変位がPC斜張橋の耐震安全性に及ぼす影響について,平成14 年3月,土木学会西部支部研究発表会
- 3) 道路橋示方書·同解説, 平成14年3月