論文 断層変位を受ける PC ラーメン橋の耐震安全性に関する研究

矢葺 亘*1・野口 邦生*2・真崎 洋三*3・越智 大三*4

要旨:集集地震で発生した数mに及ぶ変位の下では,現在の耐震設計法では想定しない箇所 (PCラ-メン橋の上部構造のように)にも塑性化が生じる.しかしながら台湾以上に多くの 断層が存在する日本では,断層変位による被害形態に関してはほとんど議論されていない.本 研究では旧・現行基準で設計された国内ラーメン橋を対象に強制変位解析を行った結果,損傷 が生じる箇所,入力変位量に対する力学的イベントの発生状況,変位の入力方向に対する安全 性の違いなどが明らかになった.

キーワード:断層変位, PC ラーメン橋, 耐震安全性

1. はじめに

1999年9月21日に発生した台湾集集地震にお ける橋梁の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(図-1).支承部が破壊し,上部構造が支えを失い落橋 につながったもので,単純桁橋の断層変位に対す る脆弱性が容易に推測される.台湾同様,数多く の断層が存在するわが国においても,この種の断 層変位による被害形態は,当然想定されておくべ きであるにもかかわらず,国内では設計時に断層 変位の考慮の義務がないのが実情である.また研 究においても地震後の被害分析は集集地震以後, 徐々に行われつつある^{1),2),3),4)}が,国内基準で設 計された橋梁が断層変位に対してどの程度の耐震 安全性を有しているかという検討はない.

そこで本研究では,PCラーメン橋を選定し,断 層変位に対する安全性の検討を行ったものであ る.具体的には,断層変位量や方向,断層発生位 置をパラメータに,各橋梁において発生する力 学的イベントを数値的に明らかにした.さらに 解析結果に基づき,断層変位を免れる策,補強策 に関する検討・提案を行った.

2. 解析概要

対象橋梁は,昭和55年道路橋示方書(以下,道



図 -1 P1橋脚の隆起による碑豊橋の落橋

示)により設計された3径間(A橋),同じく5径(B 橋),平成8年道示で設計された3径間(C橋)の3 つのPC連続ラ-メン橋を対象とした.

PC ラーメン橋が断層変位に対して構造的に有 利と考えられる点は,以下のようである.

・落橋につながる支承部損傷の検討の必要がない
・不静定橋梁であり橋全体としての耐震性能が高い
・長スパンで断層を跨ぐことで部材毎に入力され
る変形が小さくなり,損傷軽減の可能性がある

選定に際しては、当該形式で多用される支間で あることに留意した.橋梁の概要図を図-2~4 に,橋梁諸元・使用材料をそれぞれ表-1~3に示 す.なお,C橋は内・外ケ-ブル併用方式のPC3 径間連続ラ-メン橋である.

解析モデルを図-5(例としてA橋のみ)に示す.

*1 九州大学大学院助手 建設デザイン部門 修士(工学) (正会員)

- *2 大日本コンサルタント(株) 東京事業部 (正会員)
- *3 (株)構造技術センター 福岡支社技術2部課長 (正会員)

*4 住友建設(株) 九州支店土木部課長 (正会員)





図-3 B橋一般図(単位:mm)

図-4 C橋一般図(単位:mm)



 σ ck=24N/mm² SWPR7AN12T12.4

SD345



リート

鉄筋

橋長		169.580m	
形式		PC3径間連続ラーメン箱桁橋	
支間		47.580m + 72.420m + 47.580m	
地域/地盤種別		B地域/Ⅱ種地盤	
適用示方書		道路橋示方書・同解説 平成8年12月	
コンクリ	上部構造	$\sigma \text{ ck}=40 \text{N/mm}^2$	
ート	下部構造	$\sigma ck=30N/mm^2(躯体), \sigma ck=24N/mm^2(フーチング)$	
PC鋼材	内ケーブル	SWPR7BL12S12.7mm	
	外ケーブル	SWPR7BL19S15. 2mm	
鉄筋		SD345	

上部構造・橋脚ともに非線形はり要素でモデル 関係は,平成8年道示V編のコンクリ 化しM‐ - トの応力 - ひずみ曲線に従い算出した.ただ し、A橋、B橋の橋脚の帯鉄筋による拘束効果は 考慮しない. 上部構造のM - 関係における各 イベントの定義は、ひびわれはコンクリ - ト最外 縁がひびわれに達するとき,初降伏は,橋軸方向 については PC 鋼材が引張側に配置されている場 合には PC 鋼材が弾性限界に達したとき,配置さ れていない場合には最外縁鉄筋が降伏に達すると き,橋軸直角方向については最外縁のPC鋼材が 弾性限界に達するとき、またはウエブ最外縁の鉄 筋が降伏に達するときのいずれか先に発生する方 とした 終局はコンクリ - ト最外縁が圧壊すると きとした 解析ケ-スは断層が中央径間および側

径間に発生したと仮定し,橋脚下端および橋台上の支承位置の変位を漸増させる静的非線形解析を行った.断層変位は0.5m,1.0m,1.5m,2.0mおよび3.0mの5ケ-スとした.

3. 解析結果

変形図,損傷の箇所については各橋梁で同様 な傾向が見られたためA橋の解析結果のみを示 す.損傷は応答曲率の分布で表した.図-6の支 間内鉛直方向の断層が生じたケースでは損傷は 上部構造の柱頭部付近に集中した.橋脚に関し



図 -7 水平方向断層変位(閉じる,中央径間) 発生時の変形図および曲率分布









てはひび割れ程度の結果となったため図には示 していない.

図-7に支間が閉じる方向のケースを示す.こ のケースでは,損傷は橋脚に集中した,また,上 部構造においても負曲げとなる支間中央で損傷 が大きいことがわかる.これは支間中央におい てPC鋼材の配置が下縁に配置されているため負 曲げ方向の耐力が小さいためと考えられる.

図-8に橋軸直角方向に対する検討を示す.この ケースでは,橋脚の応答は弾性範囲であった.ま た上部構造では,PC降伏に至る変位は3.0mと大き く,他のケースより耐震性能が高いといえる.

図 -9に端径間に断層が生じたケースの結果を 示す.橋脚は弾性範囲内であったため上部構造 のみ示している.損傷箇所は断層が生じたとす る支間のみで発生していることが確認できる.

4. 結果のまとめ

解析結果をまとめると次のようである.

- ・断層変位による断面力・支点反力および曲率 等の変動が大きいのは断層を跨ぐ支間内であ り,他の支間への影響は小さい。
- ・上部構造については水平方向の(橋軸方向及



図 - 9 鉛直上方向断層変位(端径間) 発生時の変形図および曲率分布

び橋軸直角方向)断層変位に強く,鉛直方向の 断層変位に弱い.一方,橋脚については橋軸 直角方向及び鉛直方向の断層変位に強く,橋 軸方向の断層変位に弱い傾向にある.

・主桁の塑性ヒンジは断層位置が中央径間で2 箇所,端径間で1箇所であり,変位が増しても 箇所数は変化しない.その代わり,ヒンジ部 が降伏した後は曲率の増加が著しい.

5 解析結果に基づく考察

5.1 支間長の影響

支間長と主桁の曲率塑性率(/ y)の関係を 図-10に示す.図は断層変位1.0mおよび2.0mに 対して作成した.

図 - 10 より, 主桁の曲率塑性率は, 支間長が 長くなると一部を除いて低減される傾向がある ことがわかる.これより 断層変位に対する限界 状態,または断層変位により支間長を設定する ことで,構造設計がより合理的となることも考 えられる.

5.2 橋脚高さの影響

橋脚高さと主桁の曲率塑性率の関係を図-11 に示す.図は断層変位1.0mおよび2.0mに対して



4. スライド式上部構造

図-11 より, 主桁の曲率塑性率は橋脚高さが 高くなると一部を除いて低減される傾向がある ことがわかる.これより, 断層変位に対する限 界状態, または断層変位により橋脚高さ(橋脚 剛性)を設定することで,構造設計がより合理 的となることも考えられる.

作成した.

図 -12 断層変位に対するデバイス構造概念図

6. 断層変位に対する対策

表-4に断層変位に対するデバイス(アイデア) を示し,図-12にその構造概念図を示す. 表には原理,考えられる長所・短所,対応方向を

	1	2	3	4
デバイス アイデア	ヒンジ筋 構造	浮き基礎 構造	スライド基礎 構造	スライド式 上部構造
原理	損傷が予想される 部位にヒンジ筋を 配置しておき、断 層変位が所定の量 以上となるとヒン ジ構造となり断層 変位を吸収する。	下部構造を浮き構 造とし、桁端部も 変形を吸収出来る ゲルバー桁構造と し、桁がかりも大 きくする。	下部構造を水平方 向の変位を吸収で きる構造にする 桁端部の桁がかり を大きくする。	上部構造をスライ ド桁構造にし、想 定した断層変位を 吸収できる構造と する。
長 所	比較的に対 応可時は通常のラー が、走行 がが小する。 断 可能に優れ る。 断 可能に 修 が が 小 で あ り 、 。 断 留 変 位 が が い で あ る の ラー ・ ン た で あ る の ラー ・ ン 橋 た つ で の の う の の う に の の の う の で の の の う の の う の で の ろ の う の ろ の う の ろ の う の ろ の う の ろ の う の ろ の う の ろ の う の ろ の う の う	全方向の断層変位 に対応出来る。 想定する断層変位 量が大きくても対 応可能である。 断層変位後直ちに 復旧できる。	常時は通常のラー メン橋と同じであ り、走行性に優れ る。	全方向の断層変位 に対応出来、比較 的安価である。 断層変位後直ちに 復旧できる。
短 所	ヒンジ筋の構造に なってからの供用 性に問題がある。 上下方向の変位の みの対応である。	構造が大がかりに なり、工費が増大 する。 常時の風・水位の 上下がある場合の 安定性の検討が必 要である。	常時、レベル1の 地震動に対して確 実に固定し、レベ ル2及び断層変位 に対して移動が拘 束されない構造の 検討が必要。	伸縮継手が多くな り、走行性に劣る。 連続ラーメン橋の 構造メリットは失 われる。
対応方向	主として 上下方向	上下水平方向	水平方向	上下水平方向

表-4 断層変位に対するデバイス(アイデア)

記載した.例えば,3のスライド基礎構造は ,PCラーメン橋が鉛直方向の変位に対してより も支間が閉じる方向について耐震性に劣る点を 考慮し,水平方向にはスライド構造で変位を逃 し,鉛直方向には橋梁自体で耐えるといった解 析結果を反映した提案となっている.

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」(委員長:大塚久哲九州大学大学院教 授)での議論が有益であった.記して謝意を表 する.

参考文献

1) JSCE : THE 1999 JI-JI EARTHQUAKE TAIWAN,

-Investigation into Damage to Civil Engineering Structures-, Dec.1999

- 2)九州大学大学院建設振動工学研究室:921集集 地震(台湾)被害調査報告書,2000.2
- 3)幸左,手嶋,田崎,鈴木:台湾集集地震により 落橋した長庚橋の解析的検証,第11回プレス トレスとコンクリートの発展に関するシンポジ ウム論文集,pp-665-670,2001.11
- 4) 水口, 阿部, 藤野: 1999年集集地震における地 表地震断層による落橋現用の再現と対策の試 み, 土木学会論文集, No.710/I-60, pp.257-271, 2002.7
- 5)日本道路協会:道路橋示方書・同解説 V 耐震設 計編,1996.12
- 6)(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),1999.12