

カリフォルニアにおける最近の耐震設計実務の動向 — Recent Changes to Seismic Design Practice in California —

著：Mark Yashinsky
訳：会誌編集委員会海外部会*

カリフォルニア州運輸局（California Department of Transportation, 以下 Caltrans）における耐震設計基準は非常にわかりやすいものである。予期せぬ巨大地震に対して地震力を制限し、十分なじん性をもたせるために橋脚に塑性ヒンジを設けることが要求されている。Caltrans の耐震設計基準により設計されたこのような構造物が、カリフォルニア州では標準的な橋梁とされている。これらの橋梁のほとんどは現場打ちもしくはポストテンション方式プレストレストコンクリートのラーメン箱桁構造である。Caltrans の技術者は、他のタイプの橋梁にも同じ耐震基準を適用したいと考えている。近年の Caltrans の耐震設計課（Office of Earthquake Engineering, 以下 OEE）では、解析手順の向上、補強手順の向上、補強部材の細部の改良、そしてじん性のある橋脚に加え他の耐震性部材に対する基準の改定に力を入れている。

キーワード：地震、橋梁、災害、脆弱性、耐震設計基準

1. はじめに

カリフォルニア州における典型的な橋梁は、現場打ちまたはポストテンション方式プレストレストコンクリートのラーメン箱桁構造である。それゆえカリフォルニア州の道路建設において、請負業者は型枠技術を積み上げ、Caltrans はこのタイプの橋梁の経験や実績を重ねてきている。橋脚に塑性ヒンジをもたせることを重要視する Caltrans の耐震設計基準（Seismic Design Criteria：耐震設計規準、以下 SDC）は、ラーメン構造の橋梁を建設し続けた結果設けられたものである。

しかしながら、このタイプの橋梁はカリフォルニア州以外にも建設されようとしている。連邦高速道路局（FHWA：the Federal Highway Administration）は、施工中も交通への影響を軽減するため、急速施工や次世代橋梁を奨励している。そのうえ、研究者は橋梁が比較的損傷の無い状態を保持できることや、地震後すぐに復旧できることを評価する。

Caltrans OEE は、他のタイプの橋梁に重点を置く全米向けの AASHTO（the American Association of State Highway and Transportation Officials）の地震ガイドライン執筆の一端を担っている。最終的にはカリフォルニア州においてもこのガイドラインを採用することになると考えられる。これらにより、最終的にカリフォルニア州の耐震設計基準は変化し、カリフォルニア州の橋梁は変化していくと思われる。

2. 橋梁上下部工結合部の動向

2.1 剛結合

強く信頼性の高い結合部の設計には、多大な努力が費やされている。Caltrans の設計思想は、剛結合部のせん断破壊を防ぐため、橋脚に塑性ヒンジを設けることである。結合部のせん断に対する近年の基準では、結合部

における主応力を各技術者が決定することとされている。もしその応力が低く設定されていた場合、すぐに何らかの補強が必要となる。また、主応力が高く設定された場合は、結合部はより大きなものになってしまう。横拘束筋は、橋脚の頂部から基部にわたって配置しなければならない。橋脚の主鉄筋は、頂部と基部の結合部に十分な定着長をとらなければならない。太径鉄筋は、深くまで完全に定着する必要があるため、施工性に劣る。部材厚を小さくするためには、T型ヘッド付き補強鉄筋、フック定着、もしくはより小径の鉛直方向補強鉄筋が必要となる。

2.2 ピン結合

Caltrans は、橋脚には剛結合がより好ましいとされているが、場合によりピン結合が採用されることがある。ピン結合においては、橋脚の直径が桁高より大きくなることが要求される。多層ラーメン構造では、費用の大部分を占める基礎の寸法を縮小させる、橋脚の基部にてピン結合を設けることとされている。供用荷重に耐え、地震による損傷を受けない信頼性の高いピン結合が、ネバダ大学リノ校において研究されてきている³⁾。1989年のロマ・プリータ地震によるサイプレス高架橋の大規模な崩壊は、ピン結合部の設計が不適切であることが一因であった。Caltrans は頂部の接続に、鋼管を用いたピン構造や断面を減少させた補強ピンを使用していた。交換に必要な空間を確保することや、ピン周りのコンクリートを保護するための十分な直角方向の補強が必要となる。

2.3 継手

Caltrans は鉄筋の継手に対して厳密に規定を定めている。橋脚のように靱性を要求される部材は、塑性ヒンジ領域に継手を設けてはならず、塑性ヒンジ領域外に承認された ULTIMATE 級継手の使用が認められている。塑性化を許容しない部材にはおおむね ULTIMATE 級継手の使用が求められている一方、SERVICE 級もしくは重ね

継手の使用が認められている範囲も一部存在する。(ULTIMATE 級, SERVICE 級 は Caltrans の Standard specification にて規定される継手規格を示す^[訳注]) Caltrans では橋脚にスパイラル筋を用いることはまれであるが、適用する場合は橋脚半周分の重ねと鋭角フックを設けなければならないとしている。そのため現状ではほとんどの橋脚においてフープ筋が用いられており、それらには ULTIMATE 級の継手が用いられている。場所打ち施工による構造物の一体性確保が Caltrans の耐震設計思想の根底である。しかしながら、一般的な鉄筋の生材長さが 18 m であるという制約から、脚高や橋長が大きい橋梁に関しては構造物の一体性確保が難しくなっている。

2.4 橋 座

橋台と橋脚の橋座面において、上部工と下部工の連結がなされるのが一般的である。Caltrans ではとりわけ地震が多い地域において、インテグラルアバットやラーメン橋脚の採用によって橋座を省略することがある。しかしながら橋長が長い場合は、温度、プレストレス、その他橋軸方向変位に追従できるようヒンジ構造の橋座を設けることが一般的である。Caltrans ではこれら橋座の寸法について、600 mm 以上かつ隣接橋に生じる変位の二乗和平方根以上でなければならないとしている。橋台と橋脚の左右両端にはせん断キーが設けられ、小規模地震により生じる橋軸直角方向変位を抑制すると同時に、支承の損傷を防いでいる。

近年の研究においてこれらのせん断キーは当初の想定よりも高い強度をもっていることが明らかになったため⁴⁾、橋の重要部材が損傷を受ける前に降伏する新しいせん断キーが開発された。ヒンジ構造橋座において、橋軸直角方向変位の抑制ならびに橋座寸法が大きくなること防ぐために、二重の強化鋼管をジョイント部に設置することがある。

3. 橋梁部材の動向

3.1 基礎工

橋脚基礎として直接基礎、パイルキャップ、大口径深礎・ケーソンがある。Caltrans では 2 タイプの深礎・ケーソンを採用している。タイプ 1 は深礎・ケーソンと橋脚がほぼ同径のもので、地中部において塑性ヒンジを形成するように設計されているものである。このタイプはじん性に富み、形成される塑性ヒンジ領域が長いので、採用されるケースが多い。UCLA (カリフォルニア大学ロサンゼルス校) での実験によれば、直径 1.8 m の深礎・ケーソンは 20 % のドリフト比 (頂部が水平方向に高さの 20 % 変位することを指す^[訳注]) を有することが実証されている。タイプ 2 は橋脚に比べて大きな径を有する深礎・ケーソンであり、塑性ヒンジは地上部に形成されるよう設計されるものである。

深礎・ケーソンにおいて、施工と耐震設計におけるルールが相反するケースがしばしばあり、施工時の悩みの種となっている。その一例として、施工性を考慮する場

合、タイプ 2 ケーソンに飲み込まれる橋脚の主鉄筋の定着長は可能な限り短くした方が良く、という点があげられる。定着長を短くすればするほど、深礎・ケーソンの打継目を高い位置に設けることができ、それによって作業員が打継目処理を行う際の大規模な安全施設が不要となるからである。

現在、UC San Diego (カリフォルニア大学サンディエゴ校) において太径鉄筋の付着切れに関する実験が行われている。太径鉄筋においてこのような実験を行うのは初めてであったので、所定の引抜き力を与えるための装置と鉄筋を確実に掴む構造の詳細検討が新たに必要であった。また、施工時にはコンクリートの充填性を確保するために、軸方向鉄筋と直角方向鉄筋の間に 130 mm 角の窓を確保することが多い。同時に、コンクリート内部の確認に用いる PVC 管を最低 2 本設置する必要があるが、これは主筋間隔を 203.2 mm 未満に収めるというルールに反することとなる。

深礎・ケーソンを施工するうえでは、これらのようなルールに完全に準拠することはきわめて困難なのである。また、ドライアップした状態でコンクリート打設を行うことを目的として、近年では大口径鋼製シェルの使用例が増えてきている。

基礎の設計は地盤条件に大きく左右されることから、地盤と橋梁双方の技術者の密なコミュニケーションが求められる。Caltrans は地盤が悪い条件下で群杭が示す挙動について検討する委員会を設置した。その結果、良好な地盤において杭は実質、軸力のみを受ける部材であり基礎とピン結合する安価な標準杭が適用可能であることを示した。その一方で地盤が悪い場合、杭は十分なじん性を持ち、杭頭固定としなくてはならないとされた。

直接基礎は良質な地盤上に設けられ、橋台や橋脚を支持するものである。地震による転倒防止のため、まれにタイダウンが設置されることもある。近年の研究によれば、これらの直接基礎は、大規模な地震時であっても、地盤と結合させて固定することが認められている⁷⁾。しかしながら、橋梁全体を地盤に固定することに対しては直観的な懸念が生じるのもまた事実である。

3.2 下部工

Caltrans は強固な壁式橋脚より柔軟な橋脚を好むが、壁式橋脚はいまだ建設されている。塑性ヒンジ部材および性能保持された隣接部材の SDC 設計思想に壁式橋脚では対応できなく、基礎より強度はあるが橋軸直角方向の塑性ヒンジを形成できない。Caltrans は、設計スペクトルの最大値を用いてせん断部材 (安全率により割増) として設計される壁式橋脚を要求している。壁式橋脚は、大地震時に対してスターラップと横拘束鉄筋により補強されており、一方の端で 135° フックとしてもう一方の端で 90° フックとした横拘束鉄筋を配置している。

他の問題は、長支間橋の中空断面橋脚のじん性と降伏後の性能である。中空断面橋脚の最近試験により前提は示されているが、密に配置された径太のフープ筋をもつ充実断面の橋脚にじん性のようなものはなかった。より

費用のかかる橋梁の橋脚としてより小さい強度とじん性を受け入れることは非論理的に思える。したがって、Caltrans OEE は円形の中空橋脚に対して以下のように推奨している。

1. 半円フックの横拘束鉄筋または仕様：9A₀ に準じる。
2. 橋脚の壁厚は最小 600 mm とする。
3. 内側鉄筋は 24 mm (#8) とする。
4. 外側鉄筋は 43 mm (#14) とする。
5. 内側鉄筋の本数は最低でも外側鉄筋の本数を 50% 配置する。
6. 橋脚断面の主鉄筋は 1 % 以上とする。
7. 主鉄筋は最小 200 mm として配置し、内側にスターラップを設ける。

Caltrans OEE は、地震時において中空矩形断面橋脚の全断面が有効に抵抗できるように、非常に大きな強度をもつ横桁（充実部）を有する高圧縮部材とすることを推奨している。曲げは、この高圧縮部により抵抗させる必要があるため、この高圧縮部は横桁（充実部）よりも長くなるように設計される。

4. 橋梁種別の動向

最近、Caltrans がより多くの橋梁のタイプに SDC を使って設計できる「標準的な橋梁」の分類に適合させようとしている。

4.1 床版橋

床版橋は最近、荷重抵抗係数設計（LRFD）に対し更新された図表を使って設計される。図表は、支間長に基づいて床版厚、補強の詳細および杭間隔を表す。床版橋は設計しやすく、建設コストが安いので、床版橋に Caltrans SDC の要求事項を満たすように設計を変更することに対して消極的である。しかしながら、ネバダ大学リノ校での研究成果として、適切に設計された固定接続の杭が床版の結合部にせん断損傷をもたらすことが発表された⁸⁾。また、床版を支持する標準の杭基礎や深礎・ケーソンは、十分なじん性をもつ塑性ヒンジ領域を形成できない。

Caltrans は、（非常に地震の多いエリアを除いて）既存の設計図表を用いた耐震設計手法の開発を目指した小委員会を立ち上げた。しかしながら、SDC の耐震設計上の要求事項を満たすような多くの床版補強がされていたわけではなかった。

新しい基準は、少なくとも 0.5 m の直径とし、13 mm (#4) のフープ筋、スパイラル筋で補強する床版橋を支持する橋脚（深礎・ケーソン/杭基礎延長）を必要としていた。床版橋がより強度があって、よりじん性に富む橋脚をもった Caltrans SDC の要求事項を満たしう方法が最低でも 4 つある。

1. 床版の耐力が橋脚頂部の耐力を超えるまで床版厚を増加する。
2. 床版と橋脚頂部との間に結合部に橋脚柱断面をしぼった形状とする。
3. 橋脚頂部のモーメントを減らすためにピン構造とす

る。

4. 床版補強を増やし、桁受け梁を併用する。

小委員会は最近、床版補強がよりよい橋脚（深礎・ケーソン/杭基礎延長）に対する耐震設計上の要求事項を満たせない場合に、図表を用いて設計できる床版橋の検討を分析している。

4.2 プレキャスト橋

Caltrans は、サンマテオヘイワード橋の拡幅工事を機に 2000 年にプレキャスト桁橋を SDC の要求事項をすべて満たすように設計しはじめた。この 7.5 km にわたる長大橋は、橋脚の塑性モーメントによる結合部のせん断耐力に対するものであって、すべての鉄筋が完全に連続化するように単一配筋した橋脚横梁上のプレキャスト桁を支持する。いったん建設し始めると、桁と橋脚横梁間の複雑な接続にもかかわらず 1 日 30 m 以上の施工量で橋梁を建設することができた。

最近、橋脚横ばりに着目したプレキャスト桁橋のいくつかの耐震性能試験を行った^{9,10)}。これらの試験には、プレキャスト桁の異なったタイプを支持している逆 T 式橋脚横ばりが含まれていた。Caltrans OEE は、橋脚を通じて桁の正鉄筋を配置することを推奨している。なぜならば、すべての損傷を橋脚の塑性ヒンジに集中させる（Caltrans がアイオワ州立大学の Sritharan 教授とともに検討している設計手法）という SDC の設計思想に合致するからである。桁は逆 T 式橋脚横ばりに据え付けた。

もう一つの代替案として Caltrans がネバダ大学リノ校と共同開発しているものに、橋梁急速施工のための次世代橋梁がある¹¹⁾。本プロジェクトは 2007 年に開始され、機械式継手で基礎と結合されたプレキャスト製橋脚柱の性能を Caltrans の標準場所打ち橋脚とを比較した。これまでのところ、以下の 5 種類に関して実験が行われてきている。

- (a) 場所打ち橋脚柱
- (b) 機械式継手で結合されたプレキャスト製橋脚柱（台座なし）
- (c) 鑄鉄製グラウト充填スリーブ継手で結合されたプレキャスト製橋脚柱（台座なし）
- (d) 機械式継手で結合されたプレキャスト製橋脚柱（台座あり）
- (e) 鑄鉄製グラウト充填スリーブ継手で結合されたプレキャスト製橋脚柱（台座あり）

プレキャスト製橋脚柱は、中空構造の状態で基礎に結合された後、自己充填コンクリートで内部充填された。台座は、結合部を塑性ヒンジ領域の上に移動させる機能を果たす。現在までのところ、結果は良好である。(b) 案は、より高い変形性能を有するが (c) 案の方が施工は簡単である。実験は継続され、結局、Caltrans はフーチング、柱、横梁主桁すべてをプレキャストにして組み立てて実験をすることを望んだ。Caltrans にとっての重要な課題は、これらのプレキャスト部材が良好な耐震性を示し、かつ施工性も良く、維持管理上の問題が生じないようにすることである。

4.3 鋼 橋

鋼橋も交通への影響を最小限にしつつ急速施工が可能なる選択肢である。鋼橋の耐震設計は、Caltrans Steel Bridge Seismic Design Criteria (Caltrans SDC) に規定されている¹⁰⁾。鋼橋建設における最近の開発としては、ネバダ大学リノ校により行われている耐震システムの一部として機能するじん性のある端横桁を有する橋梁の実験がある¹²⁾。

4.4 長 大 橋

現在進めているサンフランシスコ・イーストベイブリッジの様なプロジェクトは、長支間橋梁に関する課題を反映させる機会を与えられている。大規模地震後も供用する必要のある主塔は主塔脚の間にせん断力を伝達させる Shear Link という鋼製の繋ぎ材をヒューズとして、主塔本体に損傷が生じないように設計されている。しかしながら、この耐震部材は広範囲にわたる実験はなされていないため、溶接、コンクリート主塔への定着および地震後の取換え等は Shear Link が主塔の標準的な耐震部材となるには未だ研究されるべき点がある。

5. 新しい耐震部材

Caltrans は、技術者が橋梁特性や地震の危険性の特性に合わせて多様な耐震部材を選定できるようにしたいと考えている。筆者らは、橋脚柱の塑性ヒンジ、鋼橋のじん性を有する端横桁、主塔の Shear Link に関して議論してきた。

5.1 橋台の盛土

通常の橋に広く用いられている耐震部材に橋台背面土の塑性化を利用したものがある。土は、堅壁 1 m あたりにつき、初期剛性 $K_i = 28.7 \text{ kN/mm}$ を有している。橋台剛性 K_{abut} は、堅壁面積の K_i 倍であり、有効剛性 K_{eff} は、橋台の主桁支持種別により調整される。橋台の堅壁は、受動土圧が $239 \text{ kPa} \times$ 堅壁面積に達した時に降伏すると仮定される。構造物の固有周期は、質量と剛性から得られ、設計スペクトルは加速度または変位を求めるために用いられる。 R_A 値は、計算された変位を Δ_{eff} (堅壁の降伏変位) で除した値に等しくなる。この時、橋台の最終的な剛性 K_{res} は、 R_A 値により調整される。

$R_A \leq 2$: 橋台により変位が制御され、 $K_{res} = K_{eff}$ となる。

$R_A \geq 4$: 橋台の寄与は低く、剛性低下により、 K_{res} は $= 0.1 K_{eff}$ となる。

$2 \leq R_A \leq 4$: 橋台剛性は、 R_A 値により $0.1 K_{eff}$ から K_{eff} で調整される。

5.2 アイソレーター (免震装置)

耐震部材の内、鉛プラグ入りゴム支承や摩擦ペンデル支承のような免震部材は確実性がある。それらは、橋脚柱の塑性ヒンジよりも小さな作用力で降伏するため、基礎が小さくできるうえ、橋脚柱の損傷を避けることができるため地震後、迅速に供用させることができる。小委員会は、一般の橋梁に対して免震装置とその他の耐震部材を用いるように設計基準を制定した。目的は、どのような耐震部材を用いても同レベルの耐震性を確保できる

ようにすることである。

1. 免震橋梁は Caltrans SDC の要求事項を満足させるのが良い。
2. 免震橋梁の変位は、AASHTO の免震設計指針を用いて決定する¹³⁾。
3. 危険度は、Caltrans SDC の Appendix B により決定する (減衰による低減)。
4. 免震装置は、変位の要求性能に対して 1.25 の安全率を考慮して設計を行う。
5. すべての下部工部材は、ほぼ同様な剛性と質量をもたなければならない。
6. すべての免震装置は、同じ剛性と変形性能を有さなければならない。
7. 橋脚柱は、免震装置による水平力に対して、橋脚は弾性範囲になるように設計をおこなう。
8. 橋脚柱の水平耐力は、 $V_u \geq 1.2 \times F_{1.25\Delta D}$ (水平力の 1.2 倍) とする。
9. 橋脚柱の水平耐力は、0.15 g 以上とする (死荷重反力の 0.15 倍)。
10. 橋脚柱の変形能力は (降伏点を超えて)、じん性率を 3 以上有していなければならない。

これらの基準は、供用荷重と風荷重が載荷される免震装置に十分な強度を与えるために設定された。せん断キーは供用荷重と風荷重から免震装置を保護するために設置すべきである。支承部構造や落橋防止構造は、免震装置が損傷した場合に必要なとされる。特別な必要条件は、設計地震動による損傷が許容されている (速やかに修復できる) 伸縮装置のために作られたわけではない。

5.3 ダンパー

Caltrans はいくつかの橋梁の改修プロジェクトで粘性体が漏れ始めてくる事例が確認されるまで、粘性ダンパーに免震効果があると証明されることを期待していた。大きなダンパーを交換するための費用を考えて、Caltrans のメンテナンス部は多くの橋梁に対して交換を実施することに消極的である。しかし、支間の長い橋梁のエネルギーを減衰させるのに非常に効果的であるため、それらは使用され続けている。フォレストヒルズ橋のような最近の改修プロジェクトでは、良好な実績のある座屈拘束ブレースが使用されている。また、問題のすべてが解決されるわけではないが、オイル充填ダンパーの代わりに液体シリコンダンパーを使用することも期待されている。また、Caltrans は橋梁のダンパーとして使用することができる可能性のある形状記憶合金の開発に資金提供している。

5.4 固定支承

Caltrans は現在、新設橋梁の耐震部材として固定支承を容認する手順書を作成している。Caltrans はこれまでも橋梁改修のための固定支承の使用を容認してきたが、新設橋梁に必要なとされる耐震性能はより高度である。Caltrans はいくつかの固定支承の開発プロジェクトに資金を提供しており、地盤部が直接基礎を推奨する場所に建設する短い橋梁に対し、固定支承の採用を可能にする

議論を始めるに十分な成果を上げている⁷⁾。免震装置と同様、地盤と固定された橋梁基礎は地震力が低減され、フーチングが小さくなるとともに、より速やかに橋梁を復旧することができる。

5.5 セルフセンタリング橋脚

研究者は、比較的損傷を少なくできる橋梁や震災後に速やかに供用できる橋梁の試験を行っている。ワシントン大学、スタンフォード大学、カリフォルニア大学バークレー校は、ポストテンションケーブルのための穴を中央に有した、地震後に橋梁の変位を自動的に修復させるプレキャスト橋脚の研究を行っている¹⁴⁻¹⁶⁾。これらの橋脚は組立が迅速なので、橋の建設を加速させる Caltrans の目標を達成させると考えられる。しかしながら Caltrans は、これらの橋脚のじん性・施工性および保守性について懸念している。

5.6 靱性を有する鋼部材

筆者らはすでにいくつかの鋼橋の耐震構造に触れてきた。シェアーリンクはサンフランシスコ湾のイーストベイブリッジの主塔上に設置された。これらは、ときおり鋼構造物で使用される偏心対傾構に類似している。また、鋼橋でのじん性を有する端横桁としての使用も有用である^{17, 18)}。しかしながら、これらの耐震構造は免震装置や地震時のじん性が高い橋脚のような実績がない。

6. 結 論

1987年ウィッティア・ナローズ地震、1989年ロマ・プリータ地震、1994年ノースリッジ地震以降 Caltrans は既設橋梁の改修に向けて耐震研究のための予算を増加させた。Caltrans は既存の脆弱な橋梁の改修に向けて研究を急がせ、研究が終わってすぐにその成果は改修に適用された。改修計画が完成に近づき、Caltrans は既存の橋の研究から新しい橋の耐震設計にその研究の焦点を移した。

1999年に Caltrans SDC は地震や研究成果から学んだ教訓を基に初版が発行された。この研究の大部分は地震の際に橋梁の倒壊を防ぐことを焦点にしていた。しかしながら最近では地震後の数週間・数ヶ月で地域社会を再構築できるように、持続性の高い橋梁の設計について多くの研究がなされている。

前述の耐震構造物の多くは、大地震後も速やかに橋梁を供用させることを保証している。カリフォルニアは1994年以来、大きな地震被害を受けていない。Caltrans の橋梁の耐震性を向上させるために投資された資金と研究・対策の有効性は、来る次の大地震の時に試されるであろう。

また、いくつかの橋梁は損傷を受けるかもしれないが、倒壊は免れるであろう。今後の橋梁の耐震設計は、地震後の橋梁の封鎖を防ぎ、供用を維持することに向けられるべきである。

参考文献

1) Caltrans. Seismic Design Criteria, Version 1.6. California Department

of Transportation : Sacramento, 2010

- 2) AASHTO. Guide Specifications for LRFD Seismic Bridge Design, 1st edn, American Association of State Highway and Transportation Officials : Washington, 2009
- 3) Saiidi MS, Zoghi A. Seismic Design of Pipe-Pin Connections, Report Number CCEER-10-01, University of Nevada, Reno, 2010
- 4) Bozorgzadeh A, Megally SH, Ashford S, Restrepo JI. Response of Sacrificial Exterior Shear Keys in Bridge Abutments, UCSD Report No. 2001/23 SSRP-04/14, October 2007
- 5) Stewart JP, Taciroglu E, Wallace JW, Ahlberg ER, Lemnitzer A, Rha C, Khalili-Tenrani P. Cyclic Large Deflection Testing of Shaft Bridges. Part I-Background and Field Test Results, Report to California Department of Transportation, December 2001
- 6) Shing PB, Mucia-Delso J. Bond-Slip Behavior of Large-Diameter Reinforcing Bars, UCSD 2012
- 7) Deng L, Kutter B, Kunnath S. Centrifuge Modeling and Numerical Studies of Rocking Shallow Foundations for Ordinary Bridges, Report No. UCD/CGM-10/01, Department Of Civil & Environmental Engineering, College of Engineering, University of California at Davis, June 2010
- 8) Sanders D, Ayoub M. Specimen Design and Testing Piles Extension Connection to Slab Bridges, University of Nevada, Reno FSRCC24-Experiment Summary. June, 2009
- 9) Veletzis MJ, Resrepo JI, Seible F. Structural Systems Research Project Seismic Response of Precast Segmental Bridge Superstructures, Report No. SSRP-06/18 Final, December 2006
- 10) Snyder R, Vander Werff J, Thiemann Z, Sritharan S, Holombo J. Seismic Performance of an I-Girder to Inverted-T Bent Cap Connection, California Department of Transportation Caltrans Project : 05-0160, September 2011
- 11) Saiidi M, Sanders D, Haber Z. Seismic Performance of Next Generation Bridge (NGB) Components for Accelerated Bridge Construction (ABC). <http://wolfweb.unr.edu/homepage/saiidi/caltrans/NextGen/PDFs/ResearchNotes.pdf>
- 12) Caltrans. Guide Specifications for Seismic Design of Steel Bridges, 1st edn, California Department of Transportation : Sacramento; 2001
- 13) AASHTO. Guide Specifications for Seismic Isolation Design, 3rd edn, American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington D.C. 2010
- 14) Cohagen LS, Pang BK, Stanton JF, Eberhard M. A Precast Concrete Bridge Bent Designed to Re-center after an Earthquake, Research Agreement T4118, Task 05 Rapid Construction TNW 2008-09 TransNow Budget No. 61-5915, 2009
- 15) Lee WK, Billington SL. Simulation and Performance-Based Earthquake Engineering Assessment of Self-Centering Post-Tensioned Concrete Bridge Systems, PEER 2009/109, 2009
- 16) Jeong HIL, Sakai J, Mahin SA. Shaking Table Tests and Numerical Investigation of Self-Centering Reinforced Concrete Bridge Columns, PEER 2008/06. 2008
- 17) Sarraf M, Bruneau M. Ductile seismic retrofit of steel deck-truss bridges. ii : design applications. ASCE J. Struct. Eng. 1998; 124 (11) : 1263-1271
- 18) Bahrami H, Itani AM, Buckle IG. Guidelines for the Seismic Design of Ductile End Cross Frames in Steel Girder Bridge Superstructures, Report No. CCEER 09-04, Center for Civil Engineering Earthquake Research, University of Nevada, Reno, July 2010

原 典

Mark Yashinsky : *Recent Changes to Seismic Design Practice in California*, Structural Engineering International, Vol.23, No.2, IABSE, Zurich, pp.193-197, May 2013. doi : 10.2749/101686613X13439149156633

This article was first published in English in *Structural Engineering International*, SEI, Vol.23, No.2, IABSE, Zurich, pp.193-197, May 2013. IABSE : www.iabse.org

*: 会誌編集委員会海外部会委員
秋山 博 (株) 錢高組
三浦 廣高 (鹿島建設 (株))
田原 徹也 (首都高速道路 (株))
田中 慎也 (株) IHI インフラ建設
横田 剛 (株) ビーエス三菱

【2015年2月17日受付】



刊行物案内

プレストレストコンクリート技術 2013年7月 (PC 技士試験講習会テキスト)

別冊として、過去5年間のPC技士試験問題、正解および解説を掲載しています。

現金書留または郵便普通為替にてお申込みください。

(平成25年改訂)

定 価 6,000 円 / 送料 300 円

会員特価 5,000 円 / 送料 300 円

公益社団法人 プレストレストコンクリート工学会