マルチハザードに対して設計された橋脚の耐爆実験

宇都宮大学　　正会員　　○藤倉　修一
University at Buffalo　Michel Bruneau

１．はじめに

米国においては，オクラホマの連邦政府ビル爆破事件（1995 年）やアメリカ同時多発テロ（2001 年）に代表されるように，テロリストによる構造物への攻撃が実際に起こっている．また，社会基盤に対しては，同様な攻撃はまだ起こっていないものの, ゴールデンゲート橋やブルックリン橋などへの攻撃予告が報告されている[1)]．このような状況を踏まえ，橋梁をテロ攻撃から守る必要性が米国では高まっているが，その為だけに，構造物を設計するのは不経済である．そこで，本研究は，地震に強く，なおかつ，爆風にも強い橋梁形式を提案するものである．高い耐震性を有し[2)]，また，爆風からコンクリートを守るという観点から，コンクリート充填鋼管柱（CFST 柱）を用いたマルチ橋脚ベントを提案構造形式とし，実際の爆薬を用いて，耐爆実験を行った．

２．実験供試体と実験方法

図-1 に，本研究で対象とする橋梁および爆破のシナリオを示す. 上部工がマルチ橋脚ベントで支持されている 3 径間連続橋に対して, 爆薬を積載した乗用車による攻撃を想定し，CFST 橋脚の許容回転角を 0.07rad に設定し設計を行った．橋脚の最大変位が生じる位置に着目し，1 自由度系に置き換え, 爆発によるエネルギーが橋脚のひずみエネルギーに変換されると仮定して，最大変位を計算した．その結果，厚さ 13mm の鋼管を用い直径 508mm から 610mm の範囲の円形断面となった．また，最大加速度 0.75g である加速度応答スペクトルを用いて，中規模程度の地震に対しても設計を行い，橋脚のじん性率は橋軸方向に約 2.5，橋軸直角方向に約 0.9 であった．この橋梁をもとに，実験供試体は 4 分の 1 モデルとし，図-2 に示すように 3 種類の違う断面寸法の柱，横梁およびフーチングからなる供試体を 2 体作成した．ミズーリ州にある米国陸軍施設にて実験を行ない，図-2 の側面図に示すように，横梁は反力フレームにて単純支持され，反力フレームの反対側から爆破を行った．

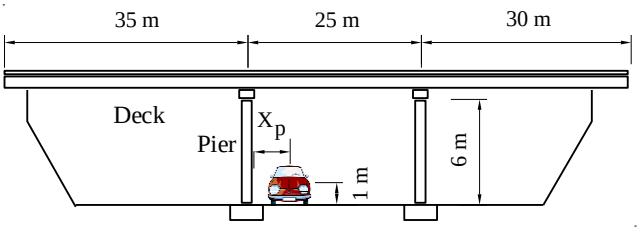

図-1　対象橋梁および爆破シナリオ

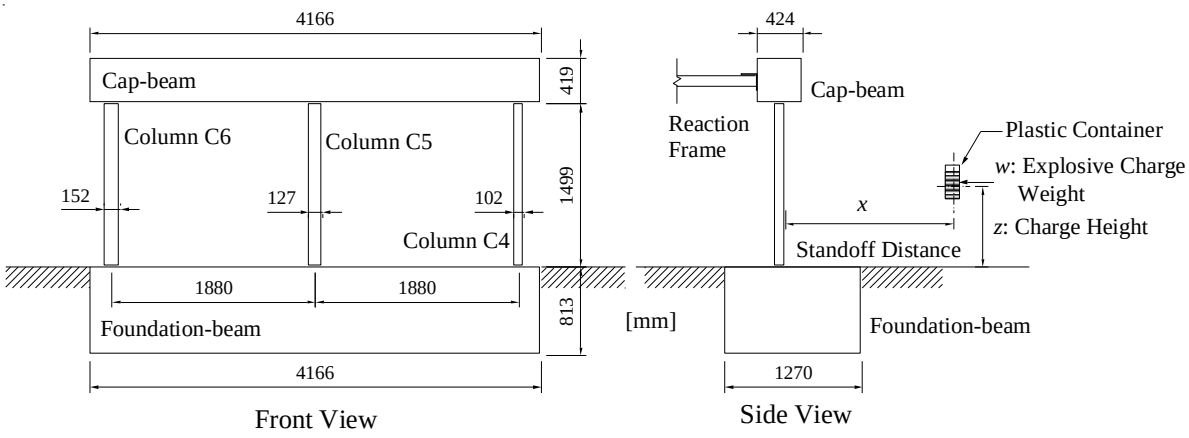

図-2　実験供試体と爆破実験状況

キーワード　マルチハザード，耐震，耐爆，コンクリート充填鋼管柱，橋脚
連絡先　　〒321-8585　栃木県宇都宮市陽東 7-1-2　ＴＥＬ028-689-6227

表-1 実験ケースおよび爆破パラメータ

テスト番号	橋脚名	試験目的	爆破パラメータ		
			w	*x*	z (m)
Test 1	B1-C4	予備試験	0.1 W	3 X	0.25
Test 2	B1-C4	最大変位	0.55 W	3 X	0.75
Test 3	B1-C4		W	2 X	
Test 4	B1-C6			1.1 X	
Test 5	B1-C5			1.3 X	
Test 6	B2-C4			1.6 X	0.25
Test 7	B2-C4	鋼管の破断		0.6 X	
Test 9	B2-C6			0.8 X	
Test 10	B2-C5				

写真-1 Test 5（左）と Test 10（右）の橋脚損傷状況

表-1 に実験ケースおよび爆破パラメータを示す．爆破パラメータは，爆薬の重量（w），柱からの爆薬の距離（x）および爆薬の高さ（z）から成り，安全保障上の配慮から，w と x はそれぞれ W と X を用いて無次元化し，相対的な量で表している．6 本の橋脚に対して，**表-1** に示す条件で，1 ケースずつ爆破実験を行った．なお，Test 2 は，今回対象とする爆破シナリオのケースである．

３．実験結果

Test 1 および 2 では，橋脚に損傷は見られず，残留変位はゼロであった．Test 3 から 6 および 9 においては，爆破後に 24mm から 76mm の範囲で残留変位が見られたが，**写真-1**（左）に示すように，鋼管には大きな損傷はみられず，じん性的な挙動を示した．Test 7 は，Test 6 の実験で 24mm の残留変位が生じた後に，同じ橋脚 B2-C4 に対して，さらに，爆薬を橋脚に近づけて爆破実験を行った．橋脚の上端と下端で鋼管が破断した結果，ベントから吹き飛び，元の位置から爆薬の前方約 34m の位置で発見された．**写真-1**（右）は Test 10 における損傷写真である．ほぼ爆薬の高さ位置において，100mm の最大残留変位が生じ，橋脚基部において，鋼管の破断が見られた．フーチングにおいては，Test 5 と Test 10 は同じ爆薬量 W を用いているものの，Test 10 では，爆薬は地面に近いため，コンクリートが大きく損傷し，クレーターが形成されている．また，橋脚の変形曲線の内側，つまり圧縮側に鋼管の座屈現象が見られたが，充填されたコンクリートが鋼管の変形を抑えるため，座屈による脆性的な破壊は見られなかったと考えられる．

４．まとめ

地震と爆風といったマルチハザードに対して強い橋梁形式を提案し，高い耐震性を有し，さらに，爆風からコンクリートを守るという観点から，コンクリート充填鋼管柱を用いたマルチ橋脚ベントを提案構造形式とした．6 本の CFST 橋脚に対して，実際の爆薬を用いて，耐爆実験を行い，爆風に対しても高いじん性を有することが分かった．

参考文献

１） Williamson, E.B., and Winget, D.G. “Risk management and design of critical bridges for terrorist attacks.” *Journal of Bridge Engineering*, 10(1), 96-106, 2005.

２） Bruneau, M., and Marson, J. “Seismic design of concrete-filled circular steel bridge piers”, *Journal of Bridge Engineering*, 9(1), 24-34, 2004.