

軸方向衝撃力負荷実験による鋼管柱試験体の の局部座屈発生メカニズムに関する検討

大野友則*・水野 淳**・藤掛一典***・河西良幸****

*工博 防衛大学校教授 土木工学科 (〒239 神奈川県横須賀市走水 1-10-20)

**工修 鹿島建設原子力設計部技術長 (〒107 東京都港区赤坂 6-5-30)

***工修 防衛大学校助手 土木工学科 (〒239 神奈川県横須賀市走水 1-10-20)

****工博 鹿島建設技術研究所第三研究部室長 (〒182 東京都調布市飛田給 2-19-1)

兵庫県南部地震で被害を受けた道路橋鋼製橋脚の中に、鉛直方向の衝撃的地震動によって発生したと考えられる局部的な損傷が見られた。本研究は、鋼製橋脚に生じた環状の局部座屈（堤灯座屈）に着目して、既存の水平衝撃荷重装置を用いたシミュレーション実験を行ったものである。実験では、試験体として円形断面と矩形断面を有する2種類の鋼管柱部材を対象とし、衝撃入力にともなう応力波によって局部座屈が発生するかどうかを調べ、さらにその発生メカニズムについて検討している。

Key Words : *impulsive earthquake, steel bridge pier, local buckling, axial impact loading test, steel pipe specimen*

1. はじめに

兵庫県南部地震（平成7年1月17日）では、数多くの鉄筋コンクリート構造物（道路橋や建物など）および鋼構造物（道路橋鋼製橋脚や建物鉄骨フレームなど）がこれまでに類をみない程の被害を受けた。震災後、官庁、大学、民間等の各機関から被災状況を調査した被害調査報告^{1)~10)}が次々と発表され、「今回の地震動では上下成分は大きかったが水平方向加速度が破壊の主原因であった」と結論づけられている。また、被害の検証や発生メカニズムの解明を目的とした実験的・解析的研究も数多く行われ、その多くは「構造物は設計強度を上回る大きな水平動で破壊した」と結論している。一方では、「被災した構造物の中には衝撃的な上下動によると考えられる破壊があった」との見解も多くある^{11)~19)}。

円形断面を有する鋼製橋脚の断面変化部に発生した堤灯座屈の発生については、鋼管柱を用いた繰り返し水平載荷実験が行われ²⁰⁾、「一定鉛直荷重下で降伏変位を越える正負交番繰り返しを行うと実際の鋼管橋脚で見られた堤灯座屈が発生する」ということで説明されている。この実験では、強制変位制御による正負の静的等振幅漸増載荷が行われている。しかしながら、水平力として作用する実地震動は正負等振幅の繰り返し載荷ではない。たとえ等振幅載荷の場合でも、振動実験を行うと最初に座屈が生じた側に片揺れして転倒に至ることが

確認されている²²⁾。実際の鋼製橋脚で局部座屈が生じて傾いた被害は、公表された多くの調査報告書や被災写真集を探しても事例が少ない。したがって、堤灯座屈が生じても真直のままの橋脚には、水平力の作用ではなく上下方向への衝撃的載荷があった²³⁾、と説明することもできる。問題は、その説明を検証する方法である。応答解析によるシミュレーションを行って、堤灯座屈の発生の可能性が検討されているが、入力等解析条件の設定によって結果が異なるため、現段階では十分とは言えない。実験的方法による場合、とくに衝撃実験を行う場合には試験体の規模・載荷方法および載荷装置が制約になるため、この方法も決して容易ではない。本研究では既存の衝撃実験装置を用いてシミュレーション実験を行うことを試みたものである。実験装置の概要・実験の方法等の詳細については、後述する。本実験の目的は、鋼製橋脚に生じた堤灯座屈に着目し、衝撃入力にともなう応力波によってこの破壊モードが出現するかどうかを調べること、および局部座屈発生メカニズムについて検討することである。実験に用いた鋼管試験体は、実際の鋼製橋脚を直接モデル化した縮尺模型ではないが、基礎部分と上部構造を含んだ橋脚の境界条件などではできるだけ反映できるように工夫した。実験のパラメータは、断面変化の有無、断面変化部の接合状態および断面形状の相違である。

2. 実験の概要

2.1 実験計画および実験装置

実際には衝撃的地震動は地盤から基礎を介して上方に（鉛直に）入力する。既存の衝撃荷重装置としては、鉛直下方向に衝撃力を載荷する自由落方式の装置が主流である。鉛直上方向に衝撃荷重を載荷する装置は、その種の実現象がこれまでほとんど無かったせい、現在国内はもちろん海外にも存在しない。そこで、既存の水平衝撃荷重装置を代用して、軸方向に衝撃荷重が入力する場合の現象をできるだけ現実に近い形で再現するようにした。

図-1に、本実験で用いた水平衝撃荷重装置の概要を示す。本装置は、直径10cmで有効長さ150cmのゴム棒8本（左右に4本づつ）を伸長させることによって得られる弾性エネルギーを衝突体の運動エネルギーに変えることによって、最大重量150kgfの衝突体（鋼製重錘）を最大20m/s（ゴムの伸長率100%のとき）で試験体に衝突させる能力を有している。衝突体の速度は、ゴムの伸び長さを変えることで任意に設定できる。衝突体は、離脱防止および的確に試験体の決められた部分に衝突させるために4本のガイドレールに沿って走行する。衝突体の試験体に衝突する部分には、直径10cm、長さ30cmの特殊鋼棒を用い、その先端は、半球、平坦、円錐の3種類のアタッチメントから選択できる。本実験では、衝突体の重量は100kgfとし、その先端は偏当たりを防ぐために半球とした。

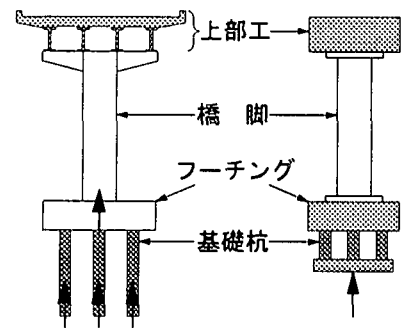
実際の橋脚は、橋脚下部はフーチングおよび基礎で地盤中に固定され鉛直下方向への移動が拘束されるが、鉛直上方向には移動可能の条件にある。また、橋脚は橋桁および橋床版等の上載荷重を受け、圧縮応力状態にある。本研究で用いる実験装置は水平方向からの載荷しかできないので、柱軸方向への衝撃荷重入力のためには図-1に示すように試験体を水平に設置せざるを得ない。したがって、上載荷重による軸圧縮応力は無視することになる。橋脚が上方向には移動可能という実際の条件に合わせるために、装置上部にガイドレールを敷設してその

上をローラーが走行できるようにした。横に配置した試験体は、4本の吊り鋼棒を介して容易に移動可能である。

2.2 試験体および実験ケース

本実験では、図-2(a)に示される鋼製橋脚を(b)の実験用モデルのように単純化した。橋脚に対応するものを柱試験体、上部工は上部重錘、フーチングおよび基礎杭を含めた下部工は下部重錘にそれぞれ置き換えた。さらに下部重錘には、基礎杭を模擬した9本の鋼棒（径3cm、長さ10cm）を取り付けた。この棒にはひずみゲージを貼付し、ロードセルの代用としている。

実験に用いる試験体は、円形断面を有する円形断面鋼管試験体および矩形断面を有する矩形断面鋼管試験体である。試験体の寸法は、既往の研究で用いられた試験体の細長比を参照し、試験装置の性能および試験体の設置スペース等の制約を考慮して決定した。表-1に試験体名、試験体の形状・寸法および試験体の概要を示す。試験体は、諸元の異なる6種類である。表-2に実験ケース一覧を示す。表中の載荷速度の欄で、速度レベル1および2は、それぞれ衝突速度が約7m/s、10m/sに相当する。また、緩衝材有とは、衝撃力の作用時間の長短による応答の相違を調べる目的で、衝突点に厚さ3cmのゴム板を設置したことを表わしている。急速載荷とは、試験体の動的圧縮耐力を調べるために、5種類の全試験体の中から各種類毎1体に対して高速度急速載荷試験を行うことを表している。実験ケースは、衝撃載荷12、急速載荷5（試験体数17）である。



(a)橋脚の模式図 (b)実験用モデル

図-2 鋼製橋脚とそのモデル

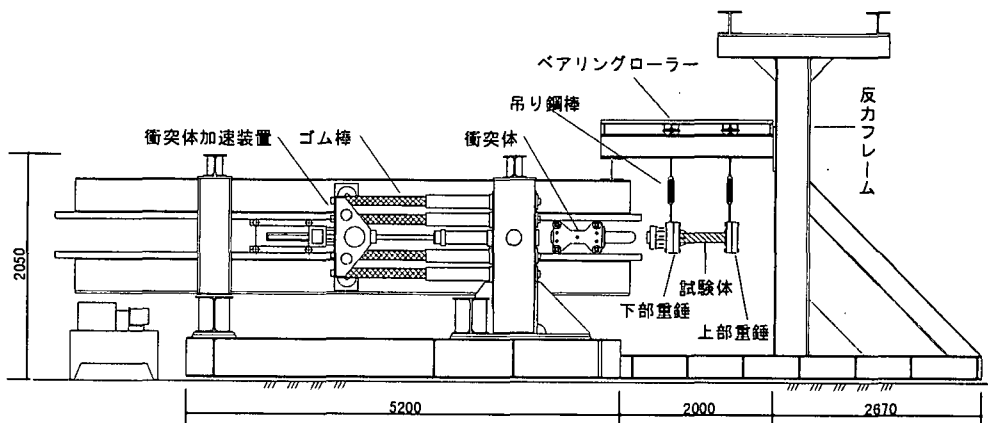
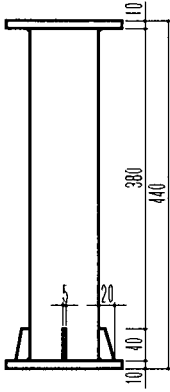
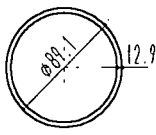
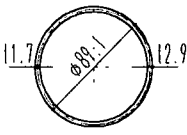
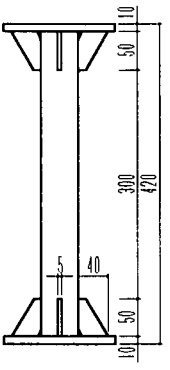
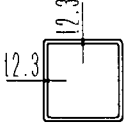
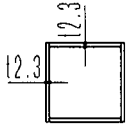


図-1 衝撃実験装置の概要

表－１ 試験体一覧

	試験体名	試験体の形状・寸法		試験体の概要
円形断面鋼管試験体	SP-3-42			この試験体は、円形断面鋼管試験体シリーズの中で基準となる標準的な試験体である。外径89.1mm，肉厚2.9mmの一般構造用鋼管（STK400）を使用した試験体である。試験体の柱部分の長さは420mmである。
	SP-C-3-2-42			この試験体は、柱の中間部に断面変化が有る場合の影響を把握するためのものである。試験体の使用材料は、SP-3-42と同じであるが下端から140mm以上の部分を切削加工して肉厚1.7mmとした断面変化部を有する試験体である。試験体の柱部分の長さは420mmである。
	SP-W-3-2-42			この試験体は、柱の中間部に溶接接合された断面変化が有る場合の影響を把握するためのものである。試験体の使用材料および緒元はSP-C-3-2-42と同じである。ただし、肉厚の異なる鋼管（肉厚2.9mm，長さ140mmと肉厚1.7mm，長さ280mm）を溶接接合した断面変化部を有する試験体である。試験体の柱部分の長さは420mmである。
矩形断面鋼管試験体	SRP-30			この試験体は、矩形断面鋼管試験体シリーズの中で基準となる標準的な試験体である。□50X50mm，肉厚2.3mmの一般構造用角形鋼管（STKR400）を使用した試験体である。試験体の柱部分の長さは400mmである。
	SRP-W-30			この試験体は、柱の中間部に溶接接合が有る場合の影響を把握するためのものである。試験体の使用材料は、SRP-30試験体と同じである。ただし、柱の中央部で2本の角形鋼管を溶接接合したものである。試験体の柱部分の長さは400mmである。
	SR-W-30			この試験体は、4枚の帯板を溶接接合して矩形断面としたものの影響を把握するためのものである。肉厚2.3mm，長さ400mmの帯板（SS400）4枚の四隅を溶接接合して矩形断面とした試験体である。試験体の柱部分の長さは400mmである。

2.3 計測

図－3に、計測位置および種類を示す。計測項目は、衝突体の加速度（G1）・速度（V）・衝突体のひずみ（S1，S2），試験体上下の重錘の加速度（G2，G3）・変位（D1，D2），下部重錘のひずみ（SP1-SP6）および鉄筋ひずみ（SS1-SS8）である。また、衝撃応答は極めて瞬間的な現象であるため、破壊の進展状況等の細部を実験後に視認・検討するために、ビデオ撮影（シャッター速度1/2000秒）を行った。

3. 実験結果および考察

3.1 柱部の損傷状況

（1）SP-3-42 試験体

図－4に、SP-3-42-C1，SP-3-42-C2，SP-3-42-C3（円形，φ89.1，t2.9，無加工）各試験体の最終損傷状況を示す。これらの試験体は、一般構造用鋼管（STK400）をそのまま用いた試験体であり、柱部全体が等厚断面となっている。この場合には、スチフナーで補強した柱下端から5cmの部分より約1cm上の位置で局部的な座屈（堤

表-2 実験ケース一覧

試験体名	断面形状	断面寸法 (mm)	高さ (cm)	載荷条件			急速 載荷
				速度レ ベル1	速度レ ベル2	緩衝 材有	
SP-3-42-C1	円径	φ89.1×2.9	42	○			
SP-3-42-C2				○		○	
SP-3-42-C3					○		
SP-3-42-HS							○
SP-C-3-2-42-C1		φ89.1×2.9		○			
SP-C-3-2-42-C2				○		○	
SP-C-3-2-42-C3					○		
SP-C-3-2-42-HS							○
SP-W-3-2-42-C1				○			
SP-W-3-2-42-C2				○		○	
SP-W-3-2-42-C3					○		
SP-W-3-2-42-HS							○
SRP-30-C	矩形	□50×50 ×2.3	40	○			
SRP-30-HS							○
SRP-W-30-C				○			
SR-W-30-C				○			
SR-W-30-HS							○

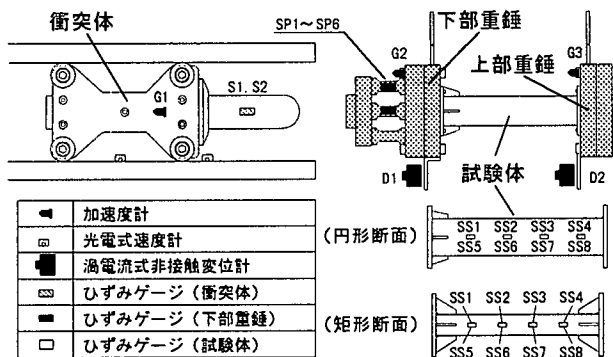


図-3 計測位置および種類

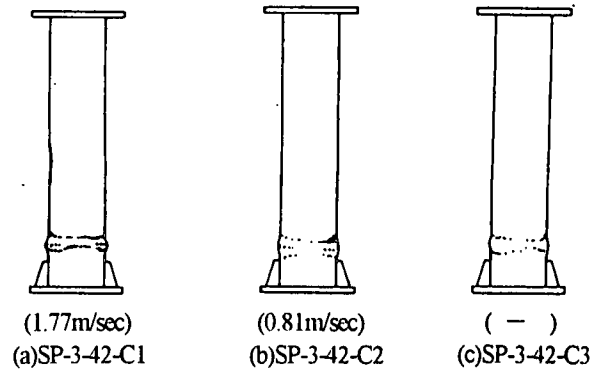
灯または象の足座屈)が生じた。発生位置、座屈形状、塗装の剥離状態が写真-1に示したような、実際の円形断面鋼橋脚の基部で生じた座屈例²¹⁾に類似している。

(2) SP-C-3-2-42 試験体

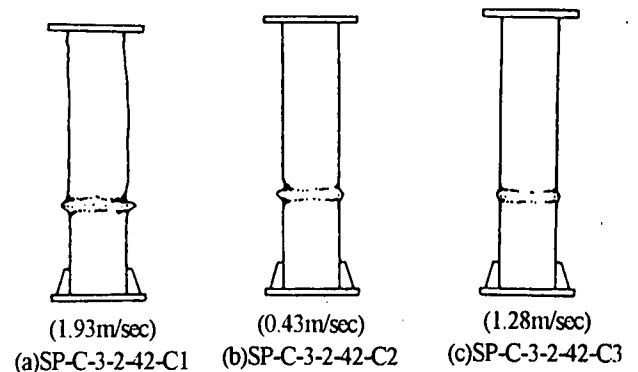
図-5に、SP-C-3-2-42-C1, SP-C-3-2-42-C2, SP-C-3-2-42-C3 (円形、φ 89.1、t2.9+t1.7、切削加工) 各試験体の最終損傷状況を示す。これらの試験体は、1本の鋼管(肉厚 2.9mm)の内側を上端から 28cm (柱全体長さの 2/3) まで、厚さ 1.7mm に削って断面積を小さくしている。局部圧縮座屈は、いずれの試験体においても断面変化位置で肉厚が小さい管側に生じた。この局部座屈は、実際の円形断面鋼橋脚の中間部に生じた座屈例²¹⁾に類似している。

(3) SP-W-3-2-42 試験体

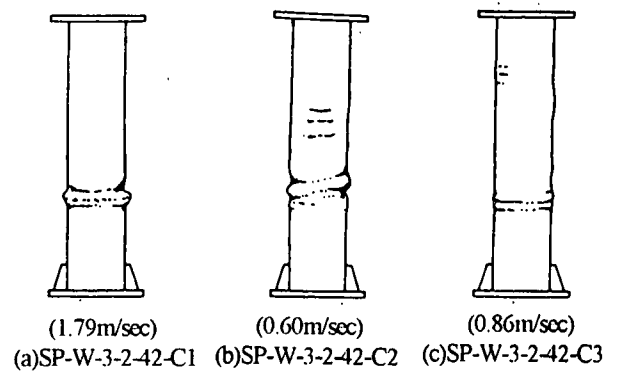
図-6に、SP-W-3-2-42-C1, SP-W-3-2-42-C2, SP-W-3-2-42-C3 (円形、φ 89.1、t2.9+t1.7、溶接接合) 各試験体の最終損傷状況を示す。これらの試験体は、長さ 42cm の1本の鋼管(肉厚 2.9mm)を 14cm と 28cm に切断し、長さ 28cm の鋼管の内側を厚さ 1.7mm に削って断



()内の値は下部重錘の初期変位速度
図-4 SP-3-42 試験体の損傷状況



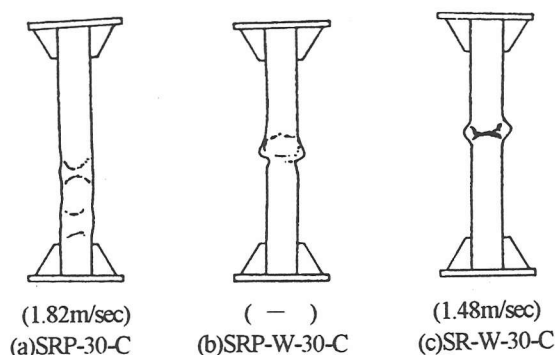
()内の値は下部重錘の初期変位速度
図-5 SP-C-3-2-42 試験体の損傷状況



()内の値は下部重錘の初期変位速度
図-6 SP-W-3-2-42 試験体の損傷状況

面積を小さくした。それをもう一度 14cm の鋼管と溶接接合したものである。SP-W-3-2-42 試験体の場合と同様に、圧縮による局部座屈は、いずれの試験体においても断面変化位置で厚さが小さい断面側に生じた。接合の有無が局部座屈の発生に及ぼす影響は認められなかった。

(4) 矩形断面鋼管試験体



()内の値は下部重錘の初期変位速度
図-7 矩形断面試験体の損傷状況

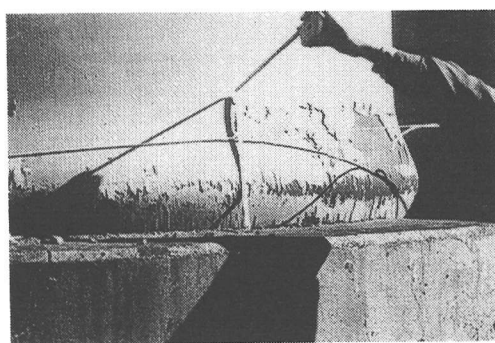


写真-1 円形断面鋼製橋脚の座屈

図-7に、SRP-30-C (□50×50, t2.3, 角型鋼管), SRP-W-30-C (□50×50, t2.3, 角型鋼管溶接接合), SR-W-30-C (□50×50, t2.3, 帯板角溶接) 各試験体の最終損傷状況を示す。SRP-30-C 試験体は、辺長 50mm の一般構造用角型鋼管 (STKR400) をそのまま用いたものである。衝撃力の入力側である下端から 7cm および 25cm 付近の 2 箇所に局部的な圧縮座屈が生じた。この座屈は、写真-2 に示す矩形断面鋼橋脚に生じた被害例²¹⁾と似ている。SRP-W-30-C 試験体は、長さ 40cm の角型鋼管を長さ 20cm の 2 本に切断して、それを再び溶接接合したものである。軸方向衝撃入力により、局部座屈が溶接接合位置を挟んで上下に生じている。SR-W-30-C 試験体は、角型鋼管と等厚 (2.3mm) の帯板 4 枚を角溶接して、長さ 40cm の角型鋼管に加工したものである。SRP-30-C 試験体と同様に下側スチフナーの近傍に局部座屈が発生することが予想されたが、図に示すような柱中央位置に生じた。溶接加工の不均一さが、一つの原因と考えられる。

3.2 局部座屈発生メカニズムに対する考察

(1) 入力衝撃力の特性と試験体の応答

図-8 に円形鋼管試験体 SP-342-C1 の作用衝撃力、上下の重錘に発生する加速度、変位および鋼管試験体に発生する平均断面ひずみの時刻歴を示す。ただし、衝突によって試験体に作用した衝撃力 (P) は、衝突体の棒に生じ

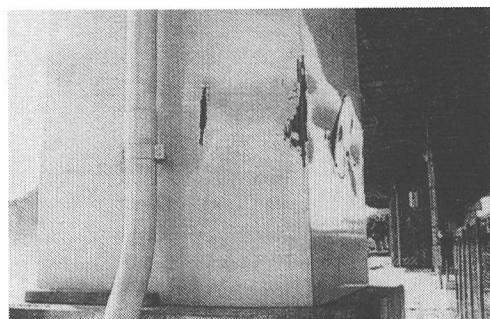


写真-2 矩形断面鋼製橋脚の座屈

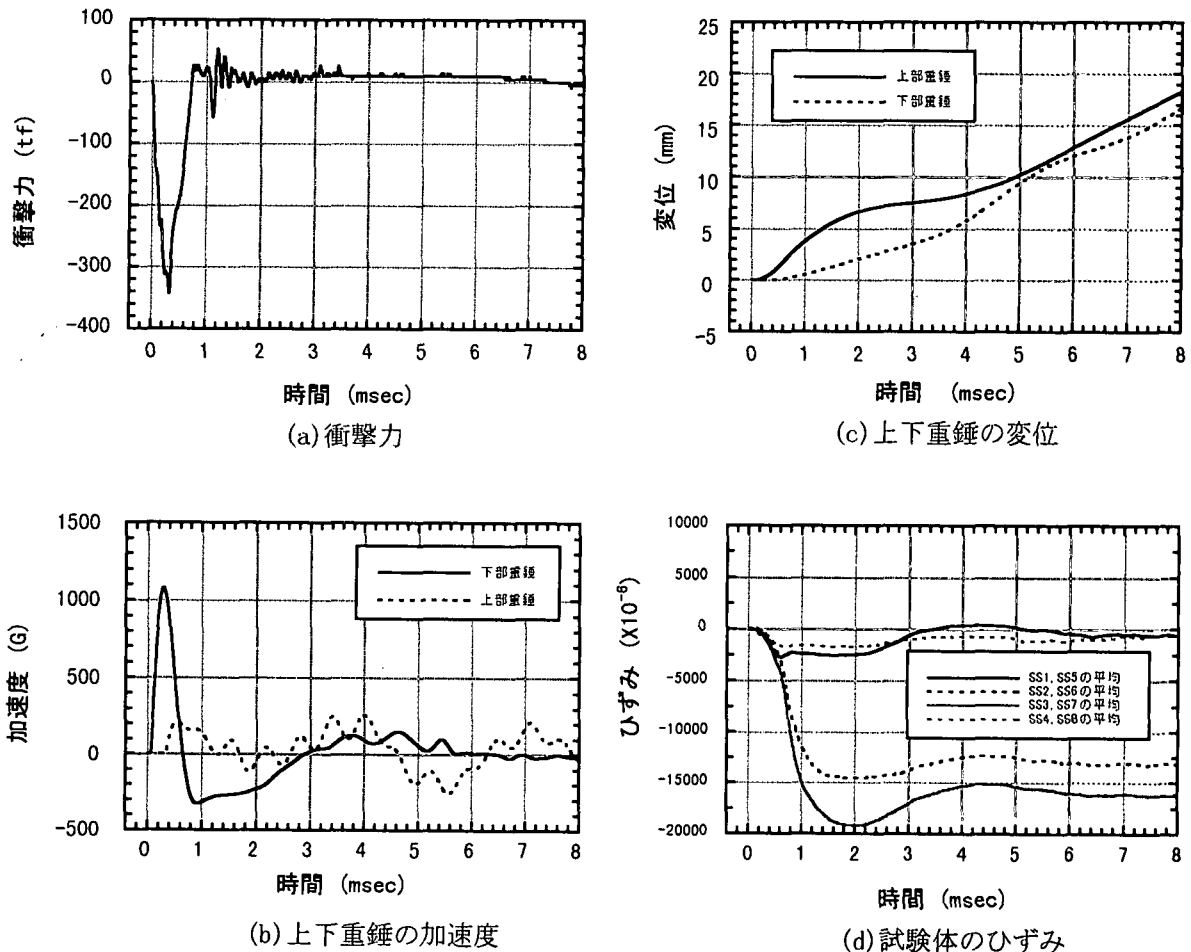
るひずみ (ε) に棒の断面積 (A) (78.54cm²) と縦弾性係数 ($E=3.5 \times 10^4 \text{ kgf/cm}^2$) を乗じることによって求め ($P = \varepsilon EA$) ている。また、加速度データは、1kHz のローパスフィルターを用いて処理したものである。

図-8(a)より最大衝撃力は時刻 0.33(msec)で発生し約 340(tf)であることがわかる。また、衝突体が衝突により試験体下部重錘に接触してから離反するまでの衝撃力の作用時間は 0.72(msec)である。緩衝材が有る場合を除いた全ての実験ケースで衝突速度が大きい方が衝撃力は大きい、衝撃力の作用時間は同じであることが認められた。図-8(b)より下部重錘の加速度は、衝突直後に発生しほぼ衝撃力の作用時間に等しい時間経過すると逆向きに転じている。上部重錘の加速度は、衝撃入力最大に達した時点で発生し、その継続時間は衝撃力の継続時間よりやや長い。また、上部重錘の最大加速度の大きさは下部重錘の約 1/4 程度である。図-8(c)より下部重錘の変位は、衝突直後 0.2msec 付近で発生している。また、上部重錘の変位は、衝撃力の作用時間内では発生せず衝撃力の作用が終了する時刻付近で発生している。

図-8(d)より試験体に発生するひずみは、衝突後 0.5(msec), ひずみの値で約 3000(μ)までは試験体各部でほぼ同じ値である。しかしながら、これ以降はひずみが局所化するため計測場所によって大きく変わっている。

(2) 局部座屈発生メカニズム

図-8 から衝撃力の作用直後約 0.6msec で SS4,SS8 の平均ひずみが 5000 μ を超える値を示している。この時点では、上重錘の変位はまだ発生していない。これは、重錘の慣性力によるものであり、見方を変えれば、衝撃力の作用間は試験体の柱部は両端固定の条件にあると言える。棒の一端に衝撃圧縮力が加えられると、棒中を圧縮応力波が進行し、先端に達すると応力波が反射・重複しながら後退波となって戻って来る。先端が自由端の場合は後退波は進行波と異符号 (引張) となり、固定端の場合は同符号 (圧縮) となる。したがって、固定端での応力は、入射応力の 2 倍となって反射する。実際には応力の透過や逸散などがあるため厳密ではないが、棒の両端における応力 σ は、 $\sigma = 2n \sigma_0$ (n : 応力波の往復回数, σ_0 : 初期発生応力 $= \rho CV_0$, ρ : 棒の密度, C : 応



図－8 実験ケースSP-3-42-C1の時刻歴

力波の伝播速度、 V_0 ：初期変位速度または粒子速度）で推定できる。SP-3-42-C1 試験体の場合、応力波の伝播速度は $C = 5120 \text{ m/s}$ である。衝撃力の作用時間 0.72 ms の間に応力波は4往復（ $0.72 \text{ ms} / 0.164 \text{ ms} = 4.4$ ：0.164ms は、弾性波が長さ 42cm の鋼管を1往復する時間）する。SP-C-3-42-C1 試験体の初期変位速度 V_0 は 177 cm/s であったから、初期発生応力 σ_0 は 726 kgf/cm^2 となる。このとき、棒中を伝播する最大応力 $\sigma_{\max}$ は、 $\sigma_{\max} = 2 \times 4 \times 726 = 5808 \text{ kgf/cm}^2$ となる。また、SP-C-3-42-C1 試験体と同じ試験体の急速載荷試験による動的最大耐力は 4737 kgf/cm^2 であった。一次元弾性波理論から計算される応力（ 5808 kgf/cm^2 ）は、動的耐力（ 4737 kgf/cm^2 ）より大きな応力である。つまり、衝撃圧縮応力により局部座屈が発生する可能性が十分考えられる。衝撃応力 σ の大きさは、材料が同じであれば変位速度 V_0 の大きさおよび弾性応力波の往復回数に依存する（ $\sigma = 2n \sigma_0 = 2n \rho C V_0$ ）ので、軸方向への衝撃力入力であっても柱部が長い場合や変位速度が小さい場合には圧縮破壊は生じにくい。

4. おわりに

兵庫県南部地震において、道路橋橋脚に多くの被害が

生じた。震災後すでに2年が経過したが、実際に被害を受けた橋脚の破壊メカニズムについては未だ十分に検証されたとは言えない。都市の直下またはその近傍が震源となって発生する直下型地震では、表層までの距離が短いため震源で放出されたエネルギーは短時間にしかも短周期の地震波が減衰せずに、パルス的な鉛直動として構造物に作用する可能性がある。このような衝撃的地震動に対して、構造物の鉛直方向に対する損傷発生メカニズムを把握しておくことは、耐震安全性の観点から重要な問題であると考えられる。本研究は、鋼製橋脚に生じた環状の局部座屈（堤灯座屈）に着目し、柱部材に対する衝撃入力により局部的な圧縮破壊が生じる可能性やその発生メカニズムについて実験的に検討することを試みたものである。なお、本実験では装置の制約から試験体を横に設置した状態で載荷を行った。

本研究で得られた結果は、以下のように要約できる。

(1) 水平衝撃荷重載荷装置を用いた軸方向衝撃荷重載荷実験を行うことにより、鋼管試験体に兵庫県南部地震で被災した鋼製橋脚に生じた環状の局部破壊が生じることを確認できた。

(2) 局部座屈は、断面に変化が無い場合はスチフナー

などによる軸方向剛性が変化する位置、断面が変化する場合はその変化位置に発生する。

(3) 柱の両端にある程度のマスが有る場合、衝撃による局部座屈は圧縮応力波が両端で固定端に近い反射をすることで重複されて発生する。

(4) 応力波による局部座屈の発生は、柱部の長さおよび変位速度の大きさに依存する。すなわち、軸方向への衝撃入力があっても柱部が長い場合や変位速度が小さい場合は、圧縮破壊は生じにくい。

謝 辞

本研究を行うにあたって、防衛大学校理工学研究科 34 期喜多隆一郎君には実験並びにデータ整理に至るまで多大なご協力を頂きました。鹿島建設技術研究所坪田張二博士には貴重なご助言を頂きました。また、鹿島建設原子力設計部の佐野喜志夫氏、松尾一平氏をはじめ、皆様には試験体の製作から実験結果に対する検討に至るまで有益な討議をして頂きました。ここに、記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 兵庫県南部地震による道路橋の震災に関する調査報告書、兵庫県南部地震道路橋震災対策委員会、1995. 12
- 2) 土木学会阪神大震災震災調査第二次報告会資料、土木学会、1995 年 3 月
- 3) 平成 7 年兵庫県南部地震被害調査報告書（第一報）、（第二報）、鹿島建設、1995 年 2 月 1 日、1995 年 3 月 31 日
- 4) 「阪神大震災（兵庫県南部地震）」調査報告—第 1 ～ 4 報—、竹中工務店、1995 年 1 月 31 日、2 月 15 日、3 月 31 日、10 月 31 日
- 5) 1995 年 1 月 17 日兵庫県南部地震調査報告速報（1）—建築構造物被害写真—、大林組技術研究所、1995 年 1 月 31 日
- 6) 平成 7 年（1995 年）兵庫県南部地震被害調査報告書、大林組技術研究所、1995 年 3 月
- 7) 阪神大震災写真集、シバタ工業、平成 7 年 4 月
- 8) 1995 年兵庫県南部地震調査報告書、清水建設技術研究所、1995 年 2 月 28 日
- 9) PRELIMINARY REPORT ON THE GREAT HANSHIN EARTHQUAK OF JANUARY 17, 1995, DPRI News Letter Special Issue, 京都大学防災研究所、1995. February
- 10) 大林組技術研究所報 特別号 1996, 大林組技術研究所、平成 8 年 8 月
- 11) 岡本舜三：阪神・淡路大震災に思う、土木学会誌、Vol.80, pp.2～5, 1995. 4
- 12) 高田直峻：「突き上げるような上下動」はどこへいった、土と基礎、44-3, pp.13～15, 1996.3
- 13) 小野紘一：衝撃的突き上げの RC 橋脚への影響、土木学会誌、Vol.80, 11, pp.37～38, 1995
- 14) Nonaka, T., Miura, K. and Tanimura, S. : A note on structural failure to the Great Hanshin Earthquake, Material Science Research International, Vol.1, No.2, pp.132-133, 1995
- 15) 伯野元彦：地震動のどのような特性が壊したのか—地盤の非整形性の影響、阪神・淡路大震災に関する学術講演会論文集、pp.125～130, 1996.1
- 16) 園田恵一郎、小林治俊：兵庫県南部地震における土木構造物の衝撃的破壊事例、第 3 回落石等による衝撃問題に関するシンポジウム、pp.115～120, 1996.6
- 17) 西岡ら：兵庫県南部地震における構造物の衝撃的破壊に関する基礎調査および数値解析手法の開発、神戸商船大学震災研究会研究報告第 1 号、平成 8 年 1 月
- 18) 園田恵一郎、小林治俊：阪神・淡路地震—初期震動の証言について、構造物の衝撃的破壊に関する学協会合同研究協議会資料、1995
- 19) 足立紀尚：阪神・淡路大震災に学ぶ地盤工学の課題、土と基礎、Vol.44No.2, pp.3～6, 1996.2
- 20) 本間、三木、館石、穴見、佐々木：断面変化のある鋼管柱の繰り返し載荷実験、阪神・淡路大震災に関する学術講演会論文集、土木学会、pp.355～358, 1996.1
- 21) 渡辺、前川、杉浦、北根：鋼橋の被害と耐震性、土木学会誌、Vol.80, pp.54～62, 1995.7
- 22) 熱海、佐藤、小山田、岸：衝撃的動的載荷法による鋼管橋脚模型実験、土木学会北海道支部論文報告集、第 52 号(A), pp.324～327, 1996
- 23) 伯野元彦：帯鉄筋間隔を狭くしただけで崩壊を防ぎ得るのか、第 2 回阪神淡路大震災に関する学術講演会論文集、pp.333～338, 1997.1

(1997 年 3 月 31 日受付)

STUDY ON MECHANISM OF LOCAL BUCKLING IN STEEL PIPE SPECIMENS BY AXIAL IMPACT LOADING TEST

Tomonori OHNO, Atsushi MIZUNO, Kazunori FUJIKAKE
and Yoshiyuki KASAI

This study is to investigate the failure mechanism of local buckling in steel bridge piers caused by the 1995 Hyogoken-Nanbu Earthquake. The impact loading test was done to examine the possibility of producing local buckling in steel pipe specimens by impulsive force. Six types of steel pipes with circular and rectangular cross section were employed for tests. Axial impact load was input to a specimen by means of the horizontal impact loading machine.