

CS-18

阪神・淡路大震災における構造物の破損について
(衝撃問題研究に携わる研究者からの一提言)

大阪府立大学工学部 正会員 谷村 眞治

1. まえがき

力学の観点から、現時点での、上記のテーマにおける問題点や今後検討することが重要であると考えられることなどを、要約して述べたい。

2. 「衝撃」、「衝撃破壊」の用語について

「衝撃」の定義や、「衝撃(的)破壊現象」と「衝撃問題研究」との関連については、最近少し具体的に述べたものがある⁽¹⁾ので、それを参照されたい。ここでは紙面の制約上、衝撃工学分野で用いられているそれらの用語の意味を、少し正確さには欠けるが、あえて、一言で述べると次のようになる。

主として固体を対象とする場合は、衝撃波の伝ばのもとではなくて、通常は、連続波(しばしば、応力波と呼ばれる)の伝ばのもと(慣性項を無視しなく、また集中質量などの単純化をしないとき)での変形や破壊などを取り扱う問題が「衝撃問題」と呼ばれている。衝撃波のもとでの挙動を取り扱う問題も、この「衝撃問題」の一部として含まれる。

衝撃波(Shock Wave)の波頭は、応力(圧力またはひずみ)や粒子速度が不連続となる面(急変する面)の伝ばと対応していて、気体中ではしばしば生じるが、固体中ではよほど特殊な条件が揃うときでない限り生じない。特殊な条件とは、たとえば、固体の応力-ひずみ図(又は圧力-体積ひずみ図)が上に凹となる材料特性のときで、しかも十分に急峻な立上りの入力条件のときである。したがって、地震動によって、対象構造物に衝撃波が生じるとは考えられない。また、観測機器で記録されないような極めて短時間のパルスを仮定したり、大振幅の上下動の発生のみで、衝撃的な破壊現象の説明づけを主張することには難点が多い。

3. 「衝撃的な破壊」に関する調査・研究の視点

直下地震で、縦揺れと横揺れとも、激しい揺れが急激に発生するとき、記録波形又は発生可能と考えられるような波形をもとにして、その揺れの初期の激しい1波または2波が主因となり、しかもその初期の揺れの発生時刻とほぼ対応して、構造物の一部に破損が生じる場合があるかどうかを、定量的に検討することが極めて重要であると考えている。このような破損(または破壊)のメカニズムを究明するためには、その対象例とする構造物(柱など)のみを取り上げるのではなく、その上部や下部(地盤も含めた)の境界条件とともに、初期の激しい入力波形の、大きさ、形状(周期、立上り、立下り)もモデル化して、応力波の伝ば・反射・干渉の影響もとらえた実体の動的挙動を可能な限り正確に把握することが重要である。このような手法は、従来からとられている衝撃問題研究での手法と本質的には何ら変わるところがなく、このような手法によって、直下地震時の初期の激しい揺れが主因で、その初期の揺れの時刻とほぼ対応して破損(または破壊)が生じるものがあることが、かなり明確になれば、そのような破損を衝撃破壊または衝撃的破壊と呼んでもよいであろう(何か差し障りがあるならば、別の呼び方でもよい)。このことは、衝撃問題研究では通常は、数m/s～数km/sの衝撃速度域を対象としているが、この度の直下地震動での1m/s程度の低速度衝撃での問題を、対象とすることと見ることもできる。

このような手法も取り入れて、直下地震時の揺れ初期の動的挙動を、可能な限り正確に調べ、このような取扱いが必要なときは、どのような地震時で、どのような構造物(その形状、大きさ、境界条件)に対してであるかを、また必要でないときはどのような場合かを、一度、はっきりさせておくことが、この際極めて重要であると考えられる。

阪神・淡路大震災、直下地震、衝撃破壊、動力学、過渡現象

〒593 大阪府堺市学園町1-1 TEL 0722-52-1161 FAX 0722-59-3340

4. 破損メカニズムに関する定量的検討結果、問題点等

地盤と橋脚を一体とした連続体モデルによる動的挙動の二次元解析^{(1)～(3)}、RC製橋脚（門型ラーメン構造）を固体要素でモデル化した三次元解析⁽¹⁾⁽⁴⁾、および円管に静的と動的軸方向荷重を負荷した座屈実験⁽⁵⁾を行った。それらの検討結果と今後の問題点を要約すると、次のようになる。

(1)直下地震時特有の揺れ初期の激しい1波又は2波が構造物の挙動に及ぼす影響を調べるために、解析用モデル（連続体モデル）を対象として、種々の条件下で数値解析を行った。その結果、構造物に生じる応力値は、揺れ速度の初期の波形の大きさのみならず、その形状（周期、立上り時間、立下り時間）、構造物の長さ、その上に載る上部構造物の形状（境界条件）によっても変わる。とくに横揺れの場合は、生じる応力の応答波形での初期の過渡値をとるか、大きく振動する時点での値をとるかによって、それらの影響（変わる様子）は大きく異なる。(2)上下方向の入力のみでも、その初期の揺れ速度が300 mm/sで、 $T \approx 1\text{sec}$ （ T は周期 $\times 1.5$ に対応）程度であれば、揺れの初期に対応した短時間にコンクリートの引張強さを越える応力の生じる場合のあることが考えられる。(3)同程度の激しさの揺れ速度のときならば、横揺れのときの方が縦揺れのときよりもはるかに大きい応力が、構造物に生じる。横揺れで、入力波の初期に対応した短時間に発生する応力値と、大きい振幅に達するときの応力値とは大差がある。前者の短時間（初期の1波程度）での過渡的な圧縮応力で、コンクリートの圧縮強さに達する場合のあることが考えられる。(4)このような初期の過渡的挙動（応答）時においては；①構造物の部材に生じる応力分布等が、準静的又は定常振動状態での応力分布等とは異なる場合がある。たとえば、水平方向の揺れのときでも、柱に生じる応力分布が、曲げ荷重により予測されるような応力分布とは異なり、過渡時では、柱長方向にほぼ様な応力分布となるときがある。このような応力分布状態での応力値が部材の強度に達するときは、その柱の最も弱い部分（下部とは限らない）で破損が開始することになる。②このような応力分布等は、初期の入力波形とほぼ対応して、時々刻々変化する（時間とともに変動する）ため、その発生応力値が部材の強度に達して破損を開始しても、その時点でただちに（瞬間的に）大きな破壊には至らない場合のあることも考えられる。③このような応力分布や時間変動等の特徴によって、直下地震で発生した特異と考えられているような破損や変形の 패턴の発生メカニズムが、無理なく説明される可能性がある。

(5)このような初期の過渡的な現象や損傷の発生に関しては、定常状態や共振現象を重視する観点からの取扱いで十分であるかどうかを、この際、一度検討しておくことも大切であろう。(6)円管の全周にわたりふくらむ座屈は、静的又は動的軸圧縮荷重でも生じる⁽⁵⁾。また、繰返し曲げによっても生じるとの報告がある。発生原因を特定するためには、対象構造物の大きさ、形状、境界条件、直下地震時の揺れ速度波形（大きさ、形状、立上り、立下り）及びその座屈が始まるタイミングにも注意して、さらに定量的な実験を行うことも重要であろう。

参考文献

- (1) 谷村眞治、兵庫県南部地震における構造物の衝撃的破壊について（破壊メカニズムに関する定量的検討）、兵庫県南部地震における構造物の衝撃的破壊に関するシンポジウム講演論文集、日本建築学会、他、p.61、(1997.3)
- (2) 谷村眞治、阪神大震災における材料・構造物の衝撃的破壊について（定量的検討）、日本機会学会関西支部第71期定時総会講演会講演論文集、No.964-1、p.174、(1996.3)
- (3) 木下 剛、三村耕司、谷村眞治、低速度衝撃下の構造物の動的挙動、日本機会学会関西支部第72期定時総会講演会講演論文集、No.974-1、p.2-29、(1997.3)
- (4) 谷村眞治、三村耕司、水内 充、斎藤年正、橋脚の衝撃的破壊挙動に関する一考察、日本機会学会関西支部第71期定時総会講演会講演論文集、No.964-1、p.176、(1996.3)
- (5) 三村耕司、谷村眞治、構造物の衝撃的破壊に関する基礎研究（実験的検証と数値解析による検討）、日本機会学会関西支部第71期定時総会講演会講演論文集、No.964-1、p.212、(1996.3)