

北海学園大学工学部 正会員 当麻庄司
 同 正会員 吉田文夫
 同 正会員 早川寛志

1. はじめに

阪神大震災ではビルディングや高速道路そして鉄道高架橋等多くの構造物が崩壊し、我が国の構造物の安全性に疑問を投げかけた。これまでなぜ構造物が壊れたのかについていろいろと述べられている。それらは古い構造物では地震荷重(横荷重)のとり方が小さかった、帯鉄筋の間隔を広くとりすぎていたため強度が足りなかった、施工ミス(鉄骨の溶接不良、コンクリートの品質不良、アンカーボルトの埋め込み不足、木材混入、等)があった、構造形式が欠陥を持っていた、強度の段落しの部分で壊れた、等々。これらの要因が大きな影響を与えていることは確かであると思われるが、現実起こった想像を越える崩壊状況からはこれらだけではとうてい説明しきれない感が残る。予想をはるかに越えた被害の背後には予想し得なかった原因が存在するものと思われる。

構造物の壊れ方には様々な形態が見られる。その内これまでの設計の常識からは考えられないものもある。たとえば、芦屋の高層アパートの鉄骨や阪急電鉄の鋼製橋脚が破断した、新幹線や在来線の鉄道高架橋に大量の橋脚破壊が生じた、ビルディングの中間層が多く破壊した、余りにも数多くのコンクリート構造物が余りに脆い壊れ方をしておりそれは単なる強度不足とは言い難い、等々。特に芦屋の鉄骨はかなり大きなサイズの角型鋼管で、それが破断するためには地震によって生じた”未知の力”とでも言うべき大きな引張力が必要となる。そこには何か従来の耐震設計において根本的に欠落している要因があるように思える。

構造物はその種類にかかわらず同様の地震力を受けている。構造物の破壊形態からその作用力を推定するのは容易でないが、そこから重要なヒントが得られる形態が存在し様々な破壊形態を結び付けることができる。本論文ではそれらを分析し、破壊のメカニズムを考察する。

2. 構造物崩壊のメカニズム

2.1 衝撃脆性

ここで注目すべきは、今回の直下型地震を地震とは思わずまるでジェット機か爆弾が落ちたようであったと多くの被災者が証言していることである。これは今回の地震による縦振動が単なる振動ではなく瞬間的に作用した衝撃であったことを意味している。それはまるで構造物は地球という大きなかなづちで下から叩かれたようなものであったろうと推測される。この衝撃波は最初上向きに作用した場合地面から圧縮力で柱に入力され構造物の中を音の速さで走る。そして構造物の頂点で反転し引張力となって柱の中を戻る。さらに次の衝撃波が入力されることによって反転した波との衝突が起こり、その大きさが倍増される可能性もある。一方この衝撃の影響によって材料の脆化が起こる可能性がある。衝撃によって材料の性質は設計の前提となっている静的な性質から変わってしまうとなると、従来の設計方法は成り立たなくなり衝撃に対する特別な配慮が必要である。

このように衝撃による応力波、すなわち軸方向力(圧縮力も引張力も考えられる)が材料の脆性を引き起こしたことが構造物崩壊の主要要因の一つと考えると、今回の様々な破壊形態をおおよそ説明することができる。コンクリートのビルディングは、縦振動(衝撃波)によって柱の一部が破壊したところへ大きな横揺れが作用して決定的な破壊に至った。ビルディングの中間層の破壊はその典型であろうと思われる。鉄道高架橋のコンクリート柱の破壊も同様に説明でき、また上部の接合部に破損が集中しているのも理解しやすくなる。特にこれらのコンクリート構造物に引張力が働いたとなると破壊は容易に起こる。

2.2 縦衝撃力による破壊

縦衝撃によって生じた軸方向力による破壊は構造物の縦方向の構造的不整形による不連続部に起こりやす

い。たとえば、いわゆる段落し部、ピロティ構造部、高架橋の首部、等である。このようなことから軸方向力が破壊の主要因であると考えた方が理解しやすいものとして、鋼管杭の水平破断、ピロティ形式のビルディングの下層破壊、コンクリート橋脚のかぶりの水平線状脱落、鋼製橋脚の水平線状座屈、コンクリート製煙突の水平破断、等の破壊例が挙げられる。建築物で多く生じたピロティ構造で破壊した柱の破壊は単に横揺れというよりも縦衝撃による先行的な破壊があった後、横揺れが作用してあのような決定的な破壊に至ったと考えた方が自然である。また木造家屋の破壊は跡形もないほどにばらばらになっており、通常の横揺れのみで起こったとは説明しきれない。これも激しい縦揺れのために家屋が持ち上げられた後、落とされたのが主因であると考えることができる。

2. 3 上部重量の影響

また縦衝撃の入力であるため上部の重量が作用力に大きく影響を与えたと思われる。それを示すものとして、一般に土木構造物は建築構造物に比べて上部重量が大きく、そのためにより被害が大きかったと考えられる。建築構造物はピロティ形式を除き一般に縦方向には重量が分布しているため被害が少なかった。大きく破壊した高速道路や高架橋の付近の建築物が意外に被害が少なかったことが実際に見られた。そのように重量が大きいため破壊した例として、西宮の鋼製橋脚の圧壊、地下鉄の中間柱の圧壊、ピルツ工法の橋脚の倒壊、阪神電鉄石屋川操車場の崩壊、阪急伊丹駅の崩壊、等が挙げられる。

3. 縦衝撃力作用の証拠

鉄骨や鋼製橋脚の水平破断は衝撃波の引張力による脆性破壊以外には考え難い現象である。その外に補足的な資料をいくつか挙げると、まず脆性破壊の他の例として高速道路の上部工と下部工を連結する沓の止めボルトが多く破断していることがある。また縦衝撃力の大きさを示すものとしては、高速道路の路面がランボリンのように踊った、止まっていた電車が脱線した、タンスが側にあった40cm高さの箱の上に乗った、橋端部の伸縮装置の歯の歯が一つずれた、円形の鋼製橋脚がちょうちん座屈をした、支点上の補剛材が座屈した、ふとんの下絨毯が動いて30cm壁にずり上がった、ピアノが部屋を歩いた、墓石が飛んだ、鐘楼櫓が30cm飛び上がった、等々数え切れないほどの事実が挙げられる。このように物が飛び上がるためには少なくとも重力の加速度(980gal)以上が必要にもかかわらず、地震計では観測されていない。これはたまたま地震計の設置場所がそうであったのか、あるいは縦衝撃波が地震計の観測可能な周波数範囲を越えていたためであろうと思われる。

4. 結語

地震と言えばこれまでソフトな振動という概念でとらえられ、ハードな衝撃というようには考えられていなかった。それ故に衝撃波による作用力や衝撃脆性についての研究は少なく詳しいことは不明である。しかし鋼材は歪速度(作用力の速さ)が大きくなると硬化が進み見かけの強度(降伏点)は上がるが脆性が増す傾向があることはよく知られている。また道路の落石覆工の衝撃実験ではコンクリートの脆性破壊が見られる。もちろん構造物の崩壊は地震の作用力と構造物の強度との相対関係から決まるものであるから、最初に述べた様々な要因も深く関与していることは間違いない。従って新しい設計基準で設計された構造物には被害が少なかったのも事実である。しかしそれだけでは今回の地震による構造物の被害をすべて説明することは困難で、そこに衝撃の要因を加えると非常に理解がクリアになる。したがってこれからの耐震設計には地震衝撃の要素も考慮しなければならないであろう。そのためには地震による縦衝撃力の解明と材料の衝撃脆性の研究が急がれる。

参考文献

- 1) 阪神大震災震害調査緊急報告会資料、土木学会、1995年2月。
- 2) 日本建築学会兵庫県南部地震災害調査緊急報告会、1995年2月。
- 3) 壊滅した土木構造物の全容、日経コンストラクション、1995年2月24日。
- 4) 衝撃力による影響の検証から、日経コンストラクション、1995年3月10日。