

切り状ひび割れやラケット橋脚の柱天端での破壊は再現できなかった。橋柱をフーチング部で固定されたパネとし、この先端に上部工が載っている単純なモデルを考え、これに地盤から柱を伝播してきた地震動による揺れが上部工を上方に突き上げると想定し、エネルギー保存の法則を使って引張応力を計算すると、平均的なT型橋脚では上部工に20 cm/s程度の入力で柱に輪切り状のひび割れが発生する結果が得られた。また、煙突にペー

スから衝撃力が入力されたとして波動方程式を用い、煙突内の軸応力を計算すると高さ50 m、外径4.7 m、内径4.0 mの煙突では50 cm/s程度の入力で、高さ30 m付近にひび割れが発生する結果が得られた。地震初期の衝撃的地震動によって断面にひび割れが発生し、この部分がその後の損傷や破壊のきっかけになった可能性もある。今後さらに検討を深めたい。

見逃されている衝撃的地震動

正会員 篠塚研究所技術部長 泉 博允 Hiromitsu IZUMI

今回の阪神・淡路大震災の直下型地震においては、衝撃的地震動が見逃されている。すなわち、地震動の初期の衝撃的P-波の値が地震計で観測されていないということである。もし、計測できたとすると、その加速度の値は500 000 galすなわち500 G程度で、波動の周期は1/1 000～1/10 000秒程度と推定される。その根拠は鋼管柱の座屈の被害の破壊形態が建設現場で見られる「杭打ちの座屈現象」と類似していることによる。すなわち、杭打ちにおける測定加速度の値は500 G程度であるからである。また、周期は鋼管やコンクリートの柱の座屈の幅50 cm程度より、1/1 000～1/10 000秒程度と推定される。この衝撃的地震動の存在は以下の被害状況からの推定となる。

- (1) 鋼製柱、コンクリート柱に圧縮・引張の破壊形態がみられる。幅も狭い。
- (2) 杭の全周にわたって均等に、きれいに壊れている。
- (3) 破壊スピードが非常に速いことが、脆性

的破壊から言える。

- (4) 海上の船が粗密波P-波により、エンジントラブルを起こしている。
- (5) 家具等が飛んでいる。

この衝撃的地震動の発生メカニズムはと言うと、杭打ちでは止まっている杭に重錘が衝突することにより衝撃波が生じるが、これと同じ現象が阪神・淡路大震災の直下型地震で起きたと考えられる。すなわち、地震における岩盤の破壊のスピードが伝播スピードより速かったために、止まっている表層地盤（止まっている杭に対応）に衝突したと推定できる。ちなみに、航空機でも、これと同じような衝突の衝撃波による破壊現象が見られている。すなわち、音速を越えるようになった戦闘機は、止まっている空気に衝突するようになり、衝撃波により、かつてない破壊を経験している。

この衝撃的地震動の存在により、今後、種々の問題が提起されることになる。

地震動のどのような性質が構造物をひどく壊したのか

正会員 工博 東洋大学教授 工学部環境建設学科 伯野 元彦 Motohiko HAKUNO

(1) 阪神・淡路大震災までは、大変大きい加速度記録が観測されるのに、その割には被害が軽

いが、それはなぜかを研究していた。たとえば、1年前のノースリッジ地震では、Tarzana 地点で

水平1.8G上下1.0Gが得られたが、強震計位置から20mほど離れた建物には、内部には亀裂などが相当あったらしいが、外見上は、ほとんど何の被害も見られなかった。また、北海道南西沖地震の余震観測で水平1.6Gが観測されたが、付近の中学校の窓ガラスが数枚割れただけであった。そして、このように被害の軽い原因として、「これらの地震動は、震源に比較的近く高振動数成分が多く、継続時間が短いため、一瞬大きな地震力が働くが、すぐ値は小さくなり構造物に亀裂は生じるが、それを進展させ得ない」だから、小さな被害は出るが大被害にはならないとするものであった。

(2) だが、今回の地震で観測された加速度記録は、大きな加速度でも、大体水平0.6G程度、最大の神戸海洋気象台でも、0.8G程度と、Tarzana記録の半分程度である。そして、継続時間

も10秒程度と短く、しかも大加速度を示す波は1波か2波で、その特徴は、周期が1~2秒と直下型地震にしては非常に長周期であった。今回の大加速度記録は、震度7の領域のものはほとんどなかったが、今仮に震度7の領域の加速度は、表層地盤とその形状の影響を受けて、その周期特性はほとんど変化せず、加速度振幅の増大と、継続時間を長くしたと仮定しよう。

(3) 高加速度の長周期波動が構造物を壊したのだろうか。(1)でも述べたように、短周期の衝撃的加速度の場合、亀裂を進行させるような高加速度の時間は、ほんの100分の数秒であろう。今回のような1~2秒の周期波の場合、亀裂を進行させる高加速度の作用時間は短周期波に比べて10倍程度あったと思われ、これが今回の大破壊の原因ではなかろうか。

傾斜基盤に起因した地震動の増幅・位相特性—バンブ現象

正会員 岡山大学教授 環境理工学部環境デザイン工学科 竹宮 宏和 Hirokazu TAKEMIYA

兵庫県南部地震の記録波形からは、すでに指摘されているように神戸海洋気象台の加速度波形では0.3~0.5秒、0.7~0.8秒、1.2~1.5秒付近に卓越した周期を有する。時刻歴としてみると、最初に大きな周期の長い揺れがあり、その後には周期の短い揺れが続く。これには震源域のメカニズムと神戸の深層(神戸層群、大阪層群)、そして表層地盤構造が関係したと思われる。

傾斜基盤上の表層沖積地盤の地震動を2次元モデルでシミュレーションした結果(日経コンストラクション1995年7月号)によると、沖積層の深さが増すに従って共振現象により次々と沖積層内には地震波が発生し、これが周期的にずれるため水平方向への伝播する表面波が励起されている。そして非常に長周期の大きい変位の揺れの中での短周期の加速度の繰り返しの様相となっている。これは短周期構造物に不安定の振動を与えた

ことになる。基盤から地表に向かって表層内を鉛直に伝播する波とそれを水平に伝播する波との干渉は、特定の沖積層の深さの箇所(震度7の震災の帯にあたる)でより大きな揺れの増幅となっている。これを筆者は「はち合わせ」あるいはバンブ現象と呼んだ(毎日新聞、2月7日)。

構造物の破壊からいまひとつ注目すべきは、地盤の増幅があまり関与してこなかった最初の大揺れである。周期成分とは裏腹に、地震が衝撃的・破壊的であったという内容がこの箇所に隠れているものと思われる。急激な強度の大きい地震力の載荷は、構造物にとって振動を励起させられる前に衝撃波となって構造物内を伝わった可能性がある。兵庫県南部地震のような直下型の地震動は、構造物にとって振動源と波動源とを区別して、そして応答を考える必要のあることを示唆しているかも知れない。