

日本道路公団 正員 紺野義仁
 東京大学 正員 伯野元彦
 戸田建設 柴田裕司

地震に対するアーチ橋の強さは、新潟地震、関東地震の例をみるまでもなく、昔から言われてきたことである。1980年の南イタリア地震においても、施工も粗末な、ろくに整形もしていない、石を渾身でかためただけのアーチ構造が、ガレキの山と化した震源近くの被災地ラビアーノにおいて、奇妙に思えるほど残っていたことを伯野が報告している。ここでは石積みアーチの模型をつくり、このような単純な剛体を組みあわせてただけのようなアーチ構造の耐震性について、実験を主にして解明してゆこうと思う。

実験に用いたアーチ構造は、図1に示すような、12個の部材を積みあげただけの単純石積み構造である。支点間が80cm、高さが17.5cm、幅20cmあり、支持部分はアーチ部材と同じ、コンクリートでできている。支持状態としては、固定と可動の2つがあり、可動の場合、図に示すようなタイヤチューブを用いて、ある程度、アーチの支持に関与させ、同時に支点に弾力をもたせた。また加速度計を基盤の振動方向とアーチ部材にとりつけ振動加速度を測定した。振動方向は軸線、面外、斜め(45°)方向の3方向に水平振動を加えた。鉛直振動は機械の限界重量を越えたため、加えることができなかった。入力は正弦波を主として用いたが、場合によって、ランダム波も用いた。

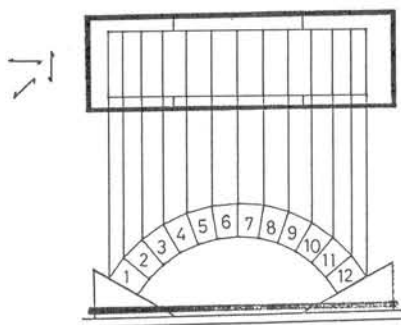


図1

アーチの破壊形態は、軸線方向とそれ以外で異なった様相を示した。軸線方向振動の場合、アーチの両端が支持面上をすべり、部材間のがたつきができてから、破壊した。(写真-1) 面外方向振動の場合、がたつきが生じず、そのまま部材がぬけるように回転し、破壊に至った。(写真-2) 斜め方向振動の場合、これらの中間的な振動形態の破壊が予想されたが、全く異なる上部がもち上がるような破壊形態を示した。(写真-3)

支点が可動の場合と、固定の場合とで異なる破壊形態を示したのは、軸線方向加振の場合で、がたつきが生じてから破壊に至るという点では同じであったが、支点が固定の場合、必ず面外へ倒れたのに対し、可動の場合は、支点間が広がって直下へ落ちることが多かった。(写真-4)

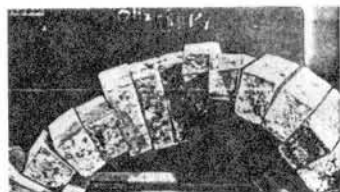


写真 1



写真 2

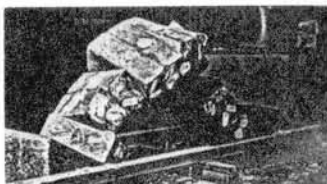


写真 3



写真 4

このように加振状態、支持条件等でアーチの破壊形態が異なることがわかった。次に破壊加速度について考えてみる。

アーチの破壊加速度については、振動方向、支点の状態の固定、可動の別ごとに、表1に、3Hとから10Hまでの正弦波入力をした場合の平均の破壊振

表 1

動のはじまる基盤加速度と、そのときの軸線方向加速度、鉛直方向加速度、面外方向加速度と継続時間を示した。これによると、軸線方向加振の場合、平均破壊振動開始加速度が約600ガルに対し、面外方向振動は約300ガルと小さい。また、アーチ部材の各加速度の値を比べてみると、基盤

	基盤 (gal)	軸線 (gal)	鉛直 (gal)	面外 (gal)	継続時間 (sec.)
軸線 固定	611.0	947.2	879.0	546.9	32.9
軸線 可動	536.6	923.9	826.5	-----	14.3
面外 固定	322.7	666.6	871.3	744.6	16.9
面外 可動	420.1	611.5	798.8	-----	9.5
45° 固定	404.1	762.2	869.3	788.1	16.6
45° 可動	487.5	770.0	925.3	780.2	13.9

破壊加速度がこれほど違うのに、他の加速度は軸線方向加振の場合も、面外方向加振の場合も、同じような値を示すことから、基盤加速度に対するアーチ部材の振動応答は、面外振動の場合、非常に大きくなることがわかる。斜め方向振動の場合、これらの中間的値を示す。このようにして面外方向加振の場合が、最も弱いことがわかった。次に、支点が可動の場合、やはり、軸線方向、斜め方向、面外方向の順に弱くなっていることがわかる。これによると、軸線方向加振の場合を除いて、破壊加速度が高くなり、応答倍率が低くなっていることがわかる。このことは、支点がアーチ同士の間接による衝撃を吸収し、アーチをこれにくくしているためと考えられる。また、軸線方向振動の場合、支点可動の場合に強度を減じている理由は、アーチの破壊形態が、二次元面内に起こる。破壊形態をとることが多くなったためと考えられる。

次に、アーチの破壊に関しては、どのような因子が関係しているかを調べてみた。地震力は速度に係すると言われている。そこで、

$$|V|_{\max} \div \frac{1}{2\pi f} |a|_{\max}$$

f: 周波数
V: 速度の加速度

の近似式から、加速度を入力周波数であった値を縦軸に、入力周波数を横軸にとったものが図2である。図2をみると、6Hとより高周波領域では、面外方向振動の場合、ほぼ一直線にならぶことがわかる。このことから面外方向振動の破壊は速度によって規定されることがわかる。

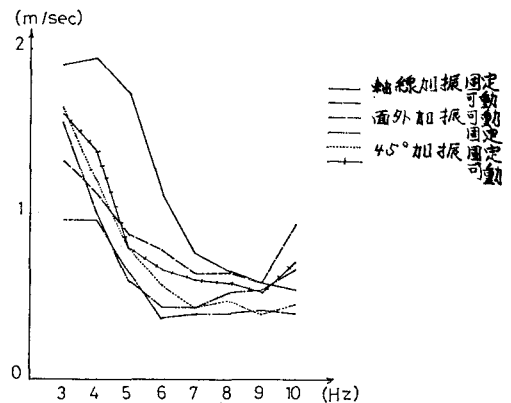


図 2

次に、軸線方向の破壊は継続時間と大きくかわりあうことが、観察の結果、推定されたため、継続時間と最大加速度をかけたものを縦軸にとり、同じように評価してみた。図3をみると、軸線方向振動、特に両端可動の場合が、5Hと以上で直線にならぶことがわかる。このことから、継続時間が大きな破壊要因となることもわかる。

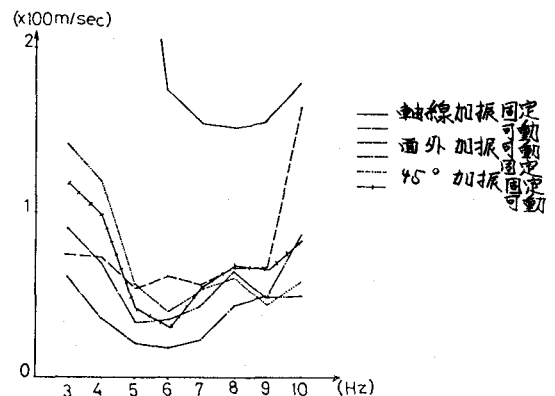


図 3

以上のことから従来言われてきたように、アーチは相当強い加速度に耐え、また破壊するときでも、継続時間の長い、長周期を含んだ地震動に弱いことが推定される。また実際のアーチはすきまがためであり、上載部分があることから、相当強い構造であることがわかる。