

落合橋における松代地震の強震観測結果

建設省土木研究所 正会員 栗林栄一
 の岩崎敏男

1. まがき 土木研究所では昭和40年12月長野市外若穂町に架設中であつた落合橋(橋脚上と地盤)および長野市内(地盤)に3台の強震計を設置し、松代地震の強震観測を継続してきた。得られた地震記録の量は非常に莫大であり、充分な解析はまだであるが、主要な強震記録について簡単な解析を行い、地盤動の特性ならびに落合橋の応答特性の概要を求めたので報告する。

2. 観測期直の概要 強震計(明石製作所製 SMAC-B2型)の設置位置は

- (A) 長野市若穂町、落合橋オ11号橋脚上
- (B) " " " 同橋脚近傍地盤
- (C) 長野市面和田町、長野国道長野土屋沖地盤

の3ヶ所である。本器は互に直交する三方向へ振動加速度を測定することができ、振子の方向は(A)、(B)両地災とは橋軸(ほぼ北西-南東)方向、橋軸直角(ほぼ北東-南西)方向および鉛直方向であり、(C)地災とは南北、東西および鉛直方向である。設置地付近の地盤調査結果をみると(B)地災は表土2mより下はかなり大粒の玉石混り砂礫層で地表面下5m以上深いところではN値が20~35とかなり良好な地盤である。一方(C)地災付近は砂および砂礫を含むシルト層で深さ15m位までN値は10程度以下であり、やや軟弱な地盤である。

落合橋の諸元を表1に、オ11号橋脚の構造図および土質柱状図を図1に示しておく。なお本橋脚に対する上部工死荷重は387tである。

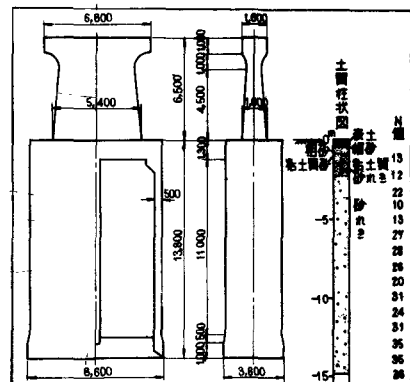
3. 得られた記録の概況 観測を

開始した昭和40年12月8日から42年6月15日までの間に3台の強震計観測ごとに1日地震の総回数は459回であり、(A)地災で377記録、(B)地災で242記録、(C)地災で107記録、合計726記録が得られた⁽¹⁾。これには最大加速度が100gal以上のものが27記録、さらに200gal以上のものが6記録含まれている。このうち比較的加速度が大きい22回の地震について簡単な一次解析を行つたので以下の如く整理した。但しこの整理においては加速度

表1 落合橋の概要

管 轄	長野県土木部
位 置	長野県上高井郡若穂町(境、長野市)
路 線 名	主要地方道、長野一菅平線
橋 長	948.25m
幅 員	6.0m
橋 格	一等橋
上部構造	ゲルバーガーター 12連 単純プレートガーダー 10連
下部構造	井筒基礎橋脚 15基 コンクリート杭基礎橋脚 6基 井筒基礎橋台 1基 コンクリート杭基礎橋台 1基
工 期	自 昭和34年 4月 至 昭和41年12月 完成
下部構造設計震度	水平 0.2

図1 落合橋オ11号橋脚



は計器感度の振動数による補正(特に短周期の場合必要である)を行わずに求めているため真の値より多少小さいの概略値であることは覚えておく。

4. 地震動記録の特性 (B)、(C)両地点で得た記録のうち比較的加速度の大きい(30g⁰程度以上)22回の地震について最大加速度と周期の関係(=この周期は加速度が最大値を示す付近のもの)および周期-頻度分布曲線(①点については図.2, ②点については図.3)を求め、以下の事が判った。

(1) 落合橋地盤(①点)における水平動の周期は大部分0.1~0.25秒の間にあり、比較的短周期である。最大加速度と周期の関係を見比べると、加速度が大きい地震ほど周期は長いく傾向がうかがわれる。次に鉛直動の周期は水平動のそれと比べてやや長い。

(2) 長野市地盤(②点)における周期は0.1~0.7秒と短いものから長いものまであり、水平動は0.5秒付近、鉛直動は0.2秒付近が卓越している。ここでも加速度が大きくなると周期が長いく傾向がみられ、加速度が100g⁰以上の場合は周期は0.4~0.7秒である。

(3) 両地点共鉛直動の最大加速度は水平動のそれと比べて小さく、その比は0.1~0.8の間にあり、0.2~0.4程度が多い。

5. 落合橋橋脚上での記録の特性 (A)点、落合橋橋脚上で得た記録について同様の解析を行い、次の結果を得た(図4に周期-頻度曲線を示す)。

(1) 橋脚上の記録波形は地盤での波形と比べて場合により規則的である。特に橋軸方向については、特定の周期をもつ正弦波に近い波が多くみられる。

(2) 橋軸方向の周期は大部分0.3~0.4秒の間にあり、本橋の固有周期(概算によると約0.35秒)が卓越して表わされたと思われる。橋軸直角方向および鉛直方向の周期はおおむね0.1~0.4秒の間にあり、橋軸方向の周期に近いものと地盤動の周期に近いものとが存在している。

(3) ここでも加速度が大きくなると周期は長いく傾向がはっきりみられる。

図.2 落合橋地盤、周期-頻度曲線

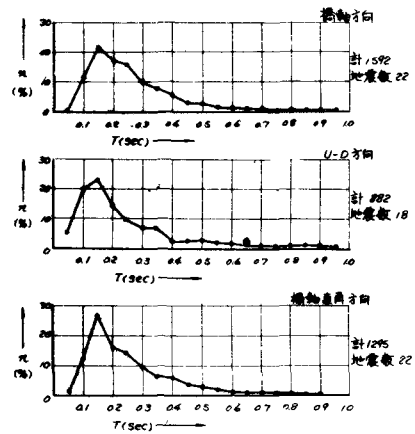


図.3 長野市地盤、周期-頻度曲線

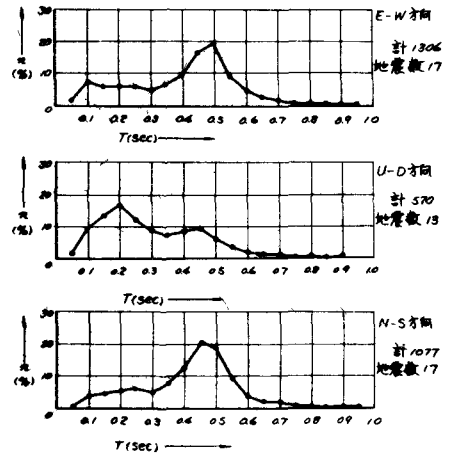
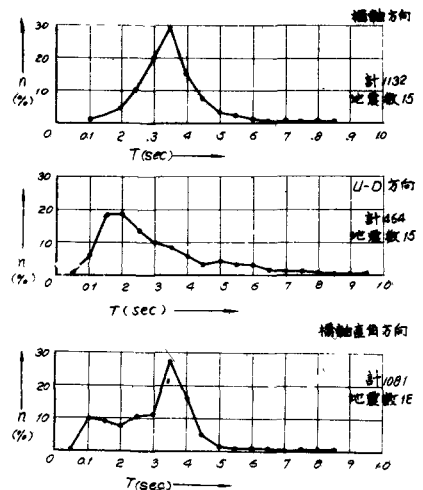


図.4 落合橋橋脚上、周期-頻度曲線



6. 落合橋の加速度応答 次に落合橋橋脚上および近傍地盤との同一地震による最大加速度の大きさを比較してみよう。図5に地盤加速度 α_{GL} と橋脚上加速度 α_{PL} の関係, 図6に地盤加速度 α_{GL} と加速度応答倍率 β_L (地盤最大加速度に対する橋脚上最大加速度の比をこう定義する) の関係を示した。また図7に地震動の周期(最大加速度付近のもの)と β_L の関係を, 地盤加速度の大きさによって分類して示した。以上から次の事が判る。

(1) 地盤加速度 α_{GL} が比較的小さい範囲(50gal程度以下)では倍率 β_L は常に1より大きく最大2.1である。 α_{GL} が大きくなるに従って β_L は小さくなり, 100gal以上になると β_L は1以下となる。最少自乗法によってこの関係を式化する。

$$\beta_L = 7.2 \alpha_{GL}^{-0.47}$$

で表わされる。 β_L の値が地盤加速度の大きさによって変わる変化をするという事は, 非線形挙動を如実に物語るものである。

(2) α_{GL} が同程度の場合は周期が長い程すなわち固有周期に近い程, β_L は大きくなる。

以上は全て橋軸方向の結果である。橋軸直交方向については土壌の相違ではないが, 同時に地盤加速度が大きい程応答倍率は低下する傾向がみられる。しかし橋軸直交方向および鉛直方向については途中は余りなく, 倍率は前後が多い。

7. 地震応答スペクトル解析 主要な強震記録については次に示す2種の地震応答解析を行い, 線型系および非線型系の応答スペクトル曲線を求め, 実測結果による応答と比較検討した。

7.1 線型系の応答スペクトル解析

1自由度線型系に対する応答スペクトル曲線の解析を数多く行い(一例を図8に示す) 次の結果を得た。

(1) 落合橋地盤の応答加速度スペクトルは短周期でピークを示し, 弱い地震の場合(数十gal程度)には, 周期0.1秒以下にピークがあり, 強震の場合(200gal程度)には0.2秒前後にピークがある。過去に我が国で得た地震記録のスペクトル⁽²⁾と比較してピークを示す周期が短い。本計算による応答倍率と実測の応答倍率と比較して示したものが図9である。

(2) 長野市内地盤で得た記録による応答加速度スペクトルは同一の地震について落合橋地盤のもの

図5 落合橋の地盤と橋脚上との最大加速度の比較(橋軸方向)

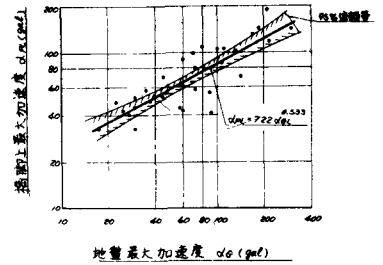


図6 落合橋, 地盤最大加速度と加速度倍率の関係(橋軸方向)

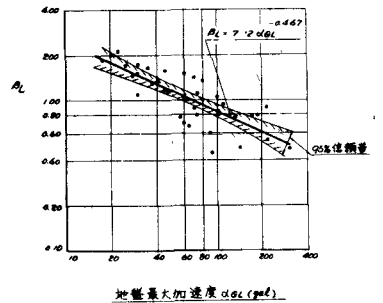
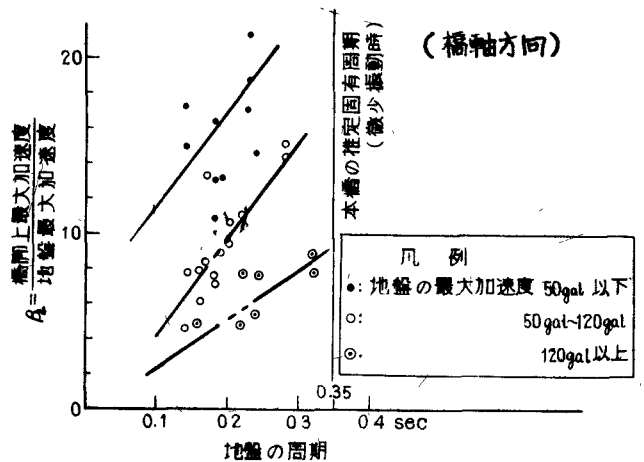


図7 落合橋, 地震動の周期と加速度倍率の関係(橋軸方向)



小とはかなり相相が異なり、ピークを有する周期はかなり長く
0.5~0.7秒である。

図.8 線型応答スペクトル(61-B-18L)

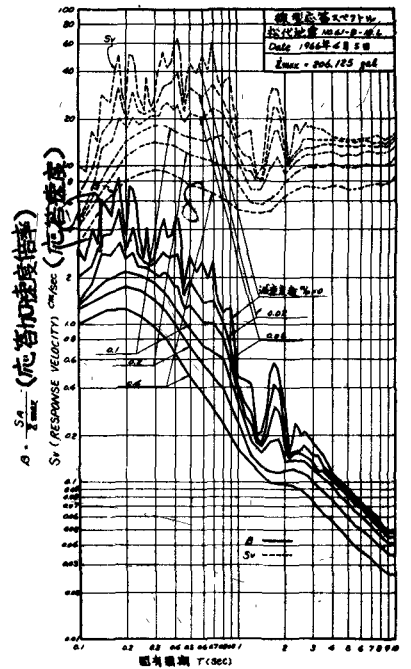
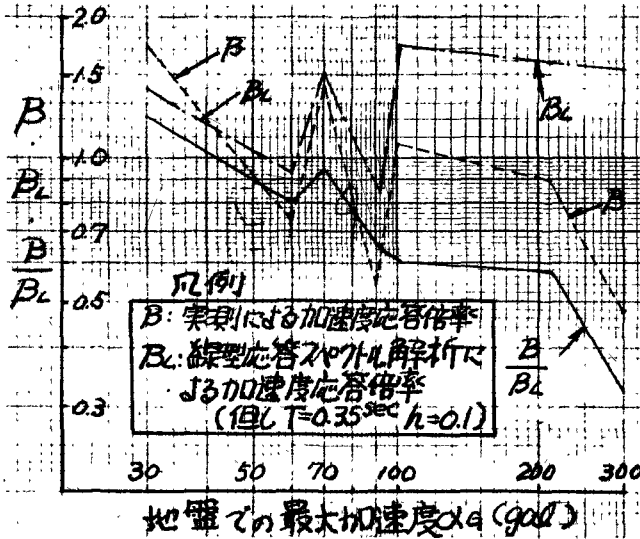


図.9 落合橋の加速度応答倍率(橋軸方向)
— 実測と線型応答スペクトル解析の比較 —



7.2 非線型系 (Bi-linear) の応答スペクトル解析
バネ系の復元力形式を Bi-linear と仮定して自由非線型系についての応答解析を実施し、スペクトル曲線も求めた。この結果大略次の事がいえる。→ 入力としたのは落合橋地盤の水平自由記録のみである。

- (1) 応答加速度は非線型を考慮すると低下する(図10参照)が、この値向は短周期の構造物ほど著しい。減衰定数の差による応答の差は線型の場合に比べ小さい。
- (2) 強震時の応答加速度倍率は弱震時のそれと比べ小さく、実験結果をより程度説明する事ができる。
- (3) 応答変位は線型系と比べ大きくなる場合があり、振動周期は長くなる。またこの解析では残留波形である。

8. おまわり 松代地震という非常に稀な機会を得て、数多くの貴重な実験資料を得る事ができた。今回は、簡単な一次解析および一部の応答スペクトル解析の結果を報告したが、今後さらに強震時における構造物の非線型的な挙動に注目して解析を進めていきたいと考えている。

(参考文献)

- (1) 栗林・岩崎「松代地震・強震記録(予報)」土研資料163号(41年4月), 「同(予報)」土研資料194号(41年7月), 「同(予報)」土研資料254号(42年3月)。
- (2) 高田大久保・栗林「橋梁の耐震設計に関する研究(2) — 地震応答スペクトル1964 —」土研報128号。

図.10 落合橋の加速度応答倍率(橋軸方向)
— 実測と非線型応答スペクトル解析の比較 —

