

実験計画法による構造解析

金沢大学工学部 正員 小堀義雄
 〃 〃 〃 〃 城戸隆良
 〃 大学院 学生員 〇三上秀行

1, まえがき

近年、道路交通量の増大と車両の大型化により、旧設計示才書に基づいて設計架設された既設の道路橋に対して、静的、動的安定性の問題が指摘されている。このことから本研究では振動が大きいとされているローゼ桁(図-1)を対象に検討して見た。ローゼ桁特有の1/4尺の逆対称一次振動の変位が卓越し、橋を通過する歩行者に著しい不快感を与えるので、その対策が望まれている。本研究では1/10の模型を作製し、実験計画法による模型実験から振動軽減と主構の補強について検討した結果を報告する。

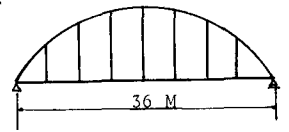


図-1 ローゼ桁

2, 振動軽減

予備実験で模型に斜材を入れることにより振動加速度が極端に減少することが認められた。実橋の更則により1/4尺の振動が特に卓越していることから、1/4尺の衝撃試験を行なった。実際に測定しなかった実験処理条件の値を含めて行程平均として推定値を求め、その値から振動加速度を小さくする斜材の最適条件の組合せを検討した。実験ではL₃₂, L₁₆型直交配列表を使用した。実験計画として模型の構造と振動現象の1/2尺に対しての対称性から図-2のように因子はA, B, C, D, E, Fの6因子とした。又各因子の水準は斜材を“入れる”“入れない”の2水準とし、入れる時には予め斜材と垂直材に25kgの引張力を与えた。大きかな要因効果を把握するために全ての2因子交互作用効果が存在あるとした。3因子以上の高次交互作用効果は存在しても非常に小さいもので、具体的な意味づけも困難であり誤差として扱った。

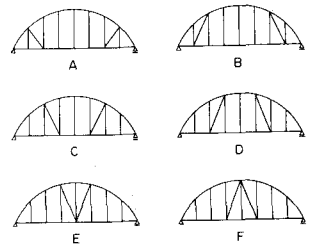


図-2 因子

表-1, 実験表 [L₃₂]

実験番号	実験順序	A	B	C	D	E	F	測定値
1	1	0	0	0	0	0	0	1.418
2	30	0	0	0	0	0	1	0.772
3	11	0	0	0	1	0	0	0.431
4	2	0	0	0	1	1	1	0.496
5	29	0	0	1	0	1	0	0.495
6	10	0	0	1	0	1	1	0.489
7	18	0	0	1	1	0	0	0.693
8	19	0	0	1	1	0	1	0.433
9	31	0	1	0	0	1	0	0.762
10	9	0	1	0	0	1	1	0.687
11	15	0	1	0	1	0	0	0.897
12	5	0	1	0	1	0	1	0.640
13	14	0	1	1	0	0	0	0.888
14	4	0	1	1	0	0	1	0.407
15	28	0	1	1	1	0	0	0.406
16	21	0	1	1	1	1	0	0.321
17	32	1	0	0	0	1	0	0.881
18	8	1	0	0	0	1	1	0.609
19	12	1	0	0	1	0	0	0.777
20	6	1	0	1	0	1	0	0.178
21	13	1	0	1	0	0	0	0.725
22	3	1	0	1	0	0	1	0.698
23	27	1	0	1	1	1	0	0.464
24	22	1	0	1	1	1	1	0.289
25	16	1	1	0	0	0	0	1.308
26	7	1	1	0	0	0	1	0.544
27	26	1	1	0	1	0	0	0.365
28	23	1	1	0	1	1	0	0.312
29	25	1	1	0	1	0	1	0.435
30	24	1	1	1	0	1	1	0.344
31	17	1	1	1	0	0	0	0.696
32	20	1	1	1	0	1	0	0.424

0: 斜材を入れない
 1: 斜材を入れる

2-1, 実験1, 測定値の構造模型は次のように表現できる。

$$Y_{i,j,k,l,m,n} = \mu + A_i + B_j + C_k + D_l + E_m + F_n + (A * B)_{ij} + (A * C)_{ik} + (A * D)_{il} + (A * E)_{im} + (A * F)_{in} + (B * C)_{jk} + (B * D)_{jl} + (B * E)_{jm} + (B * F)_{jn} + (C * D)_{kl} + (C * E)_{km} + (C * F)_{kn} + (D * E)_{lm} + (D * F)_{ln} + (E * F)_{mn} + e_{i,j,k,l,m,n} \quad (i,j,k,l,m,n=0,1)$$

ここで $Y_{i,j,k,l,m,n}$ は測定値, μ は一般平均, A_i, B_j, \dots, F_n は各因子の主効果, $(A * B)_{ij}, (B * C)_{jk}, \dots, (E * F)_{mn}$ は各2因子交互作用効果, $e_{i,j,k,l,m,n}$ は実験誤差を示す。各因子を線定図の列番号にかりつけ、表-1のような各処理条件の基にランダムな実験順序で、L₃₂(2⁶)型1/2実施実験を行ない、分散分析をした。

な平方和の計算には Yates の方法を用いた。F 検定で、有意水準 / 10 と 5 が有意でない要因効果を実験誤差にプールして再び検定した結果、要因効果 C, D, E, F, C * D, E * F が有意水準 / 10 で有意と判定された。

要因	平方和	自由度	不偏分散	分散比	標準差
C (6)	0.85	1	0.85	4.57	6.0
D (2)	17.75	1	17.75	11.83	20.0
E (8)	16.59	1	16.59	11.06	18.0
C * D (7)	4.27	1	4.27	2.85	3.0
E * F (10)	22.87	1	22.87	15.25	26.0
e	14.97	10	1.50		23.0

そこで、実験 2、実験 1 で大きな要因効果が把握されたので、実験 1 で有意となった要因効果を用い、L₁₆(2⁴)型 1/2 実施の逐次実験を行った。測定値の構造模型は次のようになる。

$$F(1, 10, 0.05) = 4.90 \quad F(1, 10, 0.01) = 10.04$$

表-2. 分散分析

$$Y_{k, l, m, n} = \mu + C_k + D_l + E_m + F_n + (C * D)_{kl} + (E * F)_{mn} + e_{k, l, m, n}$$

(k, l, m, n = 0, 1)

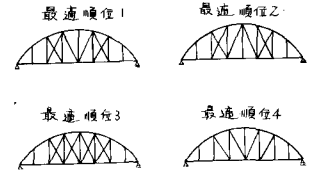


図-3

実験 1 と同様に F 検定で有意でない要因効果を誤差にプールし、その分散分析の結果を表-2 に示す。表-2 から有意と判定された要因効果を用い、実際に測定しなかった実験処理条件の値をも含めて

、逆 Yates の方法から振動加速度を小さくする斜材の最適条件の組合わせを求めた結果を図-3 に示す。

3. 主梁の補強

実橋の調査から、上弦材の耐力に多少余裕があり、又下弦材は不足していることが分るので、下弦材に対して補強が必要となった。(この耐力とは架設当時の許容応力を用いて求めた抵抗モーメントと死荷重によるモーメントとの差を現示示書の設計自動車荷重で除した値である。)そこで下弦材の耐力を増加するため斜材を入れ、下弦材を吊り、上弦材に荷重を分散させるように考え、斜材の入れ方については静的シミュレーションをして検討した。その結果、全ての斜材を入れるのが有効となったが不経済である。そこで斜材の入れ方は動的実験と組合せ図-3 のように入れて検討した。図-4, 5 は各節点の節点応力を示し、動的に最適条件の斜材の組合わせから下弦材の耐力増加を十分期待できることが認められた。

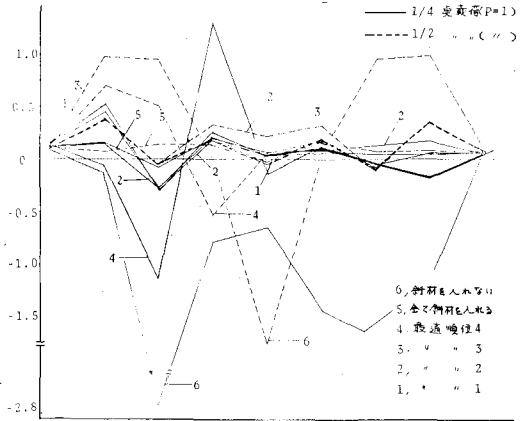


図-4 下弦材

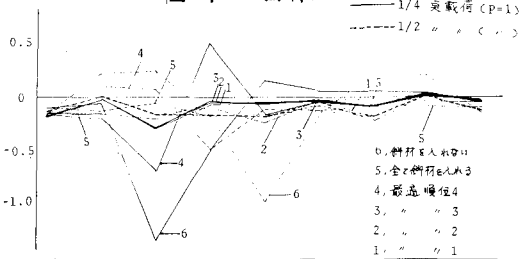


図-5 上弦材

4. おとがき

斜材を入れる事によつて静的には荷重が分散され、剛度を上げ、動的には振動変位を拘束し、振動数を上げ、振動モードを変え、その有効さが期待される。本橋の問題に対しては最適傾位 1 の斜材を入れることにより、ローゼ橋の静的、動的安定性が得られるものと思われる。実験計画法を用いた土木実験はあまり多くない。そこは実験計画法のアプローチに問題があるが、既設道路橋の静、動的安定性に対する改修問題については有効な一方法と思う。最後に御指導いただいた関係各位に感謝の意を表す。

1): 土木学会第 28 回年次講演概要集 (I-111, S. 48, 10.)

2): 朝尾, 安藤, 橋, 中村共著『最新, 実験計画法』, 日科技連 (S, 48)