

鉄道用合成桁のずれ止めに関する 実験的研究

阿 部 英 彦 (国鉄構造物設計事務所次長)

合成桁の橋梁は経済的に有利であることから道路橋の場合と同様、鉄道橋としても多く使用されてきたが特に最近では鋼桁に比べて列車走行時の騒音が小さいという公害防止上からの利点も認められている。しかし今まで合成桁に特有でしかも最も重要な部分となっているずれ止め(ジベル)部の疲労性状は余り研究されていなかった。鉄道橋としてはくり返し荷重の影響を調べることが重要なことであるので、筆者は、①鉄道橋として現在用いている馬蹄形ジベルについて、②施工が簡便で経済的なスタッドを今後、鉄道橋に採用するためにはスタッドについて、及び③急速施工のために必要とされるプレキャストスラブ合成桁用のジベルについて、押抜き試験及び模型桁試験による実験的研究を主として行い、併せて不完全合成桁、ジベル部の FEM による応力解析等、理論的研究を行った。

1. 馬蹄形ジベル：静的には大きな外力に対してジベルの変形や接するコンクリートの圧壊が起こるが、とりつけの溶接が切れることはない。しかしくり返し荷重の下ではジベルについている輪形鉄筋は比較的早期に切れ、その後、コンクリートの強度が高ければ、すみ肉溶接で切れ、同じく強度が低ければコンクリートがクラッシュし、強度が中位ではジベル前面のコンクリートが斜めにせん断で破壊する。通常の 300 kg/cm^2 程度のコンクリートの場合にはジベルの疲労変状とコンクリートのせん断との複合破壊の様相を呈する。200 万回の疲労強度は静的試験から求めた降伏荷重の $1/2 \sim 2/3$ 程度であるが、現行のずれに基づいた許容耐力に対しては一般に3倍近くあるので、充分であると考えられる。しかしジベルの疲労設計ではジベルについている輪形鉄筋を無視して現行の静的許容耐力を求め、外力による応力の変動幅がこれより小さいことを確認するという方法を採用することを提案した。また特に疲労条件が厳しい場合にはスラブと鋼桁上フランジとをボルトでとじることがよく、これによりジベルそのものの耐疲労性状も非常に改善されることを確認した。

2. スタッドずれ止め：筆者の実験のみでなく、広く国外、国内の実験データも集めて検討し、疲労許容応力として $Q_a = 30 d^2 \sqrt{\sigma_{ck}} / (1 - 0.7 \kappa)$ を提案した。ここに d : スタッドの直径 (cm), σ_{ck} : コンクリートの設計基準強度 (kg/cm^2), $\kappa = \tau_{\min} / \tau_{\max}$ である。

同様にスタッドを溶植した母材の疲労強度としては $\sigma_a = 1050 / (1 - 0.7 \kappa) \text{ kg/cm}^2$ を提案した。

3. プレキャストスラブ合成桁：これについては方式が種々あるのでジベルのみの問題でなく、筆者が国鉄において実用化した二方式について全般的に研究した。方式の一つはコンクリートスラブを鋼桁上フランジに高力ボルトで強力に締めつけ、その間の摩擦力でせん断力を伝達させるものである。この方式についての疲労性状は非常にユニークであり、静的なずれ以外に疲労による劣化は認められないが、問題は締められたコンクリートスラブのクリープである。種々の因子があるが、初期の半分にも減少する場合があるので、20 m 以上のスパンに対しては適用できないと考えられる。もう一つの方式では大型のジベルを鋼桁に溶接しておき、プレキャストのスラブにはジベルの位置に穴をあけておく。現場でスラブを置いた後に穴は良質のコンクリートで充填し、また、浮上と防止のために所々、スラブと鋼桁とをボルトでとじる。この方式は従来の合成桁と同程度のスパンに適用できそうであり、あまり強い力でボルトを締めおかないでも、これによりジベルの疲労強度が大きく向上する。

4. ジベルの応力解析：ジベルの応力分布は細かには測定できないので馬蹄形ジベルについて3次元の FEM 解析を行ったがやはり疲労クラックが発生した部分の応力集中度は高く、現行の設計のようにジベルを剛と考えたものとは応力分布が大幅異なる。 α 溶接止端部の半径の影響を比較計算したが半径 $0.5 \sim 2.0 \text{ mm}$ の範囲では応力集中係数の変化は余り著しくなく、これは他の疲労試験でも実証されている。次いでビードの断面内の塑性域の伝播状況を解析したが、これは実験におけるクラックの進展と類似であった。

5. ジベルの弾塑性の影響およびスラブの有効幅：桁の実験を行うと特にずれ止めのせん断伝達の分布にジベル部の弾性や塑性変形の影響が入ってくるので、差分方程式を用いて数値解析を試みた。現行のジベルと密度であれば、実用上ずれは無いとして設計計算してもほとんどそれによる誤差は無いことがわかった。

また、実験ではずれの最大値が桁端でなく、これより少し中に入った部分に起こることが認められるが、これはスラブの有効幅が桁端で小さくなると仮定して計算すると説明がつく。

以上、本報告は主として合成桁のずれ止めの疲労を中心とした研究であるが、結果は現行の合成鉄道橋の設計標準に種々反映されている。

道路橋の振動とその振動感覚に関する研究(総合題目)

小堀 為雄(金沢大学教授)・梶川 康男(福井工業大学講師)

構造物は安全性が高く、経済的で、しかも自然と調和し、かつ快適な使用状態が保たれるように設計されねばならない。

本研究は、その使用状態のうち、橋梁の振動が歩行者におよぼす心理的影響について実験的に検討したものである。振動が人体に与える影響については、労働医学・乗心地や居住の快適性などにおいて問題とされ、これまで生理学的・心理学的に多くの研究がなされ、各種の評価法が提案されている。しかし、橋梁においては、ほとんどの人が歩いていることや振動数範囲が異なることなどから、従来の評価法のみでは誤った判断を招くことが考えられる。

そこで、筆者らは各種形式橋における振動の実態を把握するために実橋の振動調査を行った。すなわち、鉛直変位検出用振動計を橋梁に設置し、大型バスあるいは空車の大型ダンパー(重量8~12トン)が橋梁上を単独で通過する際の振動をデータレコーダーに記録させ、AD変換し、電子計算機によるスペクトル解析を数十橋に対して行った。

また、振動調査に基づいて実際の状況に近い状態を考え、人間が上下方向に振動を受けたときの影響を生理的影響・人体の動的応答による影響や心理的反応の3項目に大別し、それぞれについて考察した。特に影響が大きいと考えられる心理的反応については、台上を歩行できるような大型振動台を製作し、被験者が立った時と実際に台上を歩いた時に対して計量心理学的手法を用いて、次のような振動感覚実験を実施した。

1) マグニチュード推定法:各振動の心理的な大きさが基準振動(3 Hz, 1 mm 振動)に対して、どの程度の大きさに感じられるかを答える実験であり、これによって等感度がどのような物理的刺激によって生ずるか、物理的刺激と心理的な大きさとの関係を知ることができる。

2) 分・倍数刺激選択法:基準の振動に対して大きさが半分あるいは2倍に感じられる振動を選び出す。

3) ランダム振動等価法:実橋の振動波形を再生して同じ感覚を与える正弦振動を選び出す。

4) 複合正弦振動等価法:複数の振動数が含まれる場合、他の振動数成分がどの程度影響するかを調べ

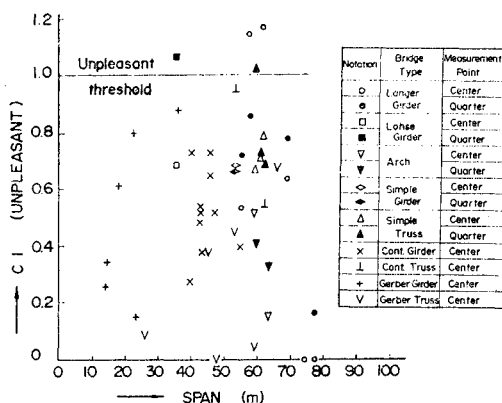


図-1 実橋振動の心理的大きさ

る。

5) 系列カテゴリ法:各振動に対する感じが、用意されたカテゴリのどれに属するかを答える。

以上の調査・実験から歩行者への影響に関して、次のような結論が得られた。

(1) 橋梁の振動によって歩行者が受ける影響のうち、生理的な影響や人体の動的応答による影響は小さく、主として心理的反応のみを考慮すればよい。

(2) 橋梁の振動(1~10 Hz)において歩行者を対象にするならば振動感覚を生ずる刺激(S)として振動速度の実効値を考えるのが妥当である。

(3) 振動刺激(S)と振動の心理的大きさ(VG)の関係は、音響における音圧と音の大きさ(sone)の関係と同様である。すなわち、VGは次式で示される $S \leq 1.4 \text{ cm/sec}$ では

$$\log_{10} VG = 0.05(20 \log_{10} S/S_0 - 40) \quad \cdots \cdots (1)$$

$S > 1.4 \text{ cm/sec}$ では、

$$\log_{10} VG = 0.03(20 \log_{10} S/S_0 - 40) \quad \cdots \cdots (2)$$

(4) 道路橋においては約20トンの車両通過に伴う振動によって歩行者が歩きにくいようにすべきである。そのためには、振動の大きさ(VG)を1.12(振動速度の実効値で1.7 cm/sec)以下にするのが望ましい。

(5) 筆者らの調査した橋梁において、約10トンの車が走行することによって生じた振動の心理的大きさは図-1のようである。このように、振動実験の結果を評価できる。

以上のような評価法によって、従来からの材料強度的な考察に加えて、歩行者の心理的反応という立場からの考察を行うことができる。