

少数主桁橋の部材破断時における動的特性に関する検討

岐阜工業高等専門学校 学生会員 ○大野 凌雅

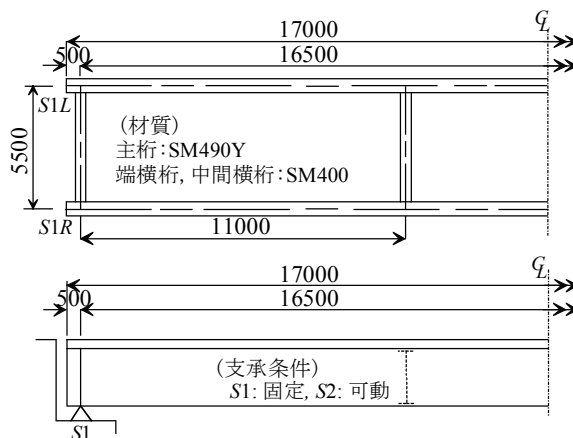
岐阜工業高等専門学校 正会員 水野 剛規

1. はじめに：少数主桁橋は通常の桁橋と比べ部材数が少なく、作りが簡単で経済的である。これらの理由から近年数多くの少数主桁橋が建設されている。桁橋の重大事故として、2000 年のアメリカのミルウォーキー川にかかる *Hoan* 橋の事例¹⁾がある。本橋梁では、3 本の主桁のうち、2 本の主桁の下フランジとウェブが突然破断した。本橋梁は一般的なコンクリート床版を有する桁橋であり主部材に加え 2 次部材も有していたことから、リダンダンシーが十分に確保されていたことにより、部材破断後に再配分された荷重を他部材が有効に負担し、全体系の崩壊に至るような大事故にはならなかった。一方、同様の事故が少数主桁橋で起こった場合には、部材数が少なくリダンダンシーが十分に確保されているとはいえないため、全体系の崩壊に至る可能性もある。そこで、本研究では、下フランジおよびウェブが突然破断した場合における少数主桁橋の動的特性に関する基礎的な検討を実施する。

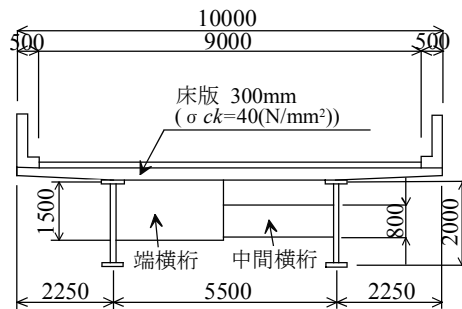
2. 解析モデルと検討方法：対象橋梁は図-1 に示す支間長 33m、桁高 2m の単純鋼 2 主桁橋である。解析には非線形汎用ソフト ABAQUS を用いる。以下に解析のモデル化について説明する。モデルは単純桁であるため、対称性を考慮し近似的に図-2 に示すハーフモデルを設定する。なお境界面には対称性の境界条件を導入する。主桁、横桁、床版は、シェル要素を用いてモデル化する。このとき床版のシェル要素は上フランジ面に配置し、シェルの中央面を床版中心にオフセットしている。床版の質量は、集中質量に離散化して与えている。材料構成則として、鋼材はバイリニア移動硬化則（2 次勾配 $E/100$ ）とし、コンクリートは損傷塑性モデルとする。

検討では最も厳しいパターンとして、疲労亀裂の進展により支間中央付近の下フランジおよびウェブが脆性的に破断した場合を想定する。図-2 に示す右側の主桁(S1R 側)の支間中央の下フランジとウェブが突然破断した場合の動的応答を複合非線形動的解析により求める。具体的には、まず静的に死荷重を载荷させた後、部材破断させる下フランジとウェブの節点の境界面の拘束を瞬時に開放させることにより部材破断を表現する。減衰は無視している。

3. 部材破断時の崩壊挙動特性：部材破断時の崩壊挙動特性を確認するため、図-2 に示す少数主桁橋の解析モデルに対し、床版の载荷質量を死荷重質量で除した、载荷質量比 k を 1.0 から 3.2 まで変化させた 7 パターンについて動的解析を実施する。図-3 は図-2 に示す右側の主桁(S1R 側)の支間中央の鉛直変位 v_R の時刻歴応答である。図-3 より k が 1.0~2.7 の場合、鉛直変位は途中まで単調に増加し、最大値に到達後、自由振動していることが確認できる。载荷質量比 k が大きいほど鉛直変位は大きくなり自由振動に至るまでの時間を要



(a) 全体図



(b) 断面図

図-1 対象橋梁

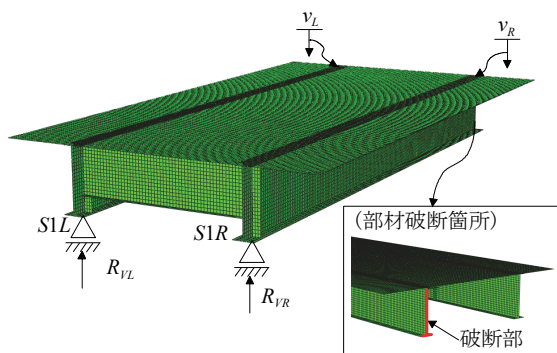


図-2 解析モデル

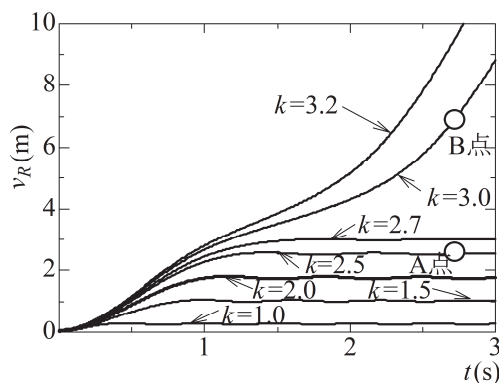
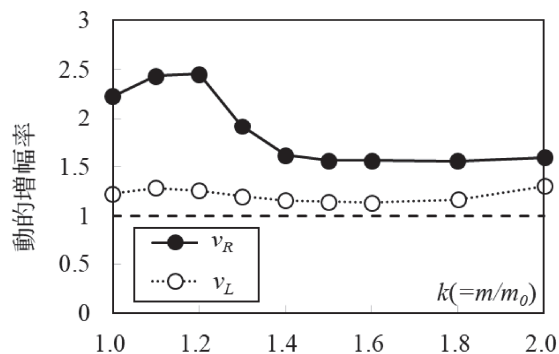
図-3 鉛直変位 v_R の時刻歴

図-5 載荷質量比と動的増幅率(鉛直変位)

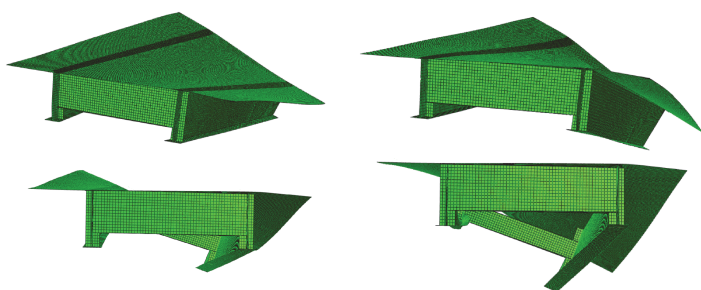
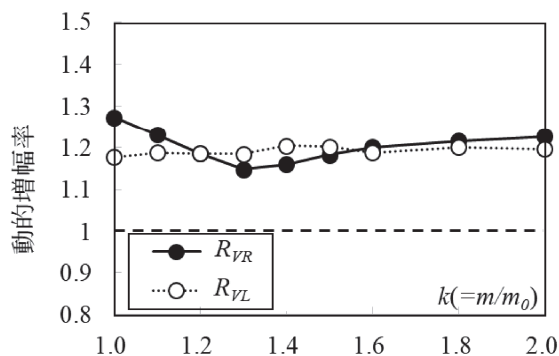
(a) $k=2.5$, 崩壊しない(A 点)(b) $k=3.0$, 崩壊する(B 点)図-4 変形図($t=2.8(s)$, 等倍)

図-6 載荷質量比と動的増幅率(鉛直反力)

している．一方、 k が 3.0, 3.2 のときは鉛直変位がそのまま単調に増加し、崩壊に至っている．そのため最小崩壊質量は、 $k=2.7\sim 3.0$ に存在すると考えられる． $k=2.5, 3.0$ の 2.8 秒時点(図-3 の A 点, B 点)における変形図を図-4 に示す．いずれのケースも部材破断側の主桁(右側)が大きく撓んでいることが確認できるが、 $k=3.0$ は $k=2.5$ よりもさらに大きな鉛直変位が生じており、このモードで崩壊が進行していくことがわかる．

4. 部材破断による動的増幅率：先程の検討で崩壊に至らなかった $k=2.0$ 以下のモデルを対象に部材破断時の動的増幅率について検討する．動的増幅率は、部材破断した場合の動的解析の最大応答値を部材破断した場合の静的解析の値で除すことにより求める．対象とする物理量は図-2 に示す両主桁の上フランジの鉛直変位、支点の鉛直反力とする．図-5 に鉛直変位についての載荷質量比 k と動的増幅率の関係を示し、図-6 に載荷質量比 k と鉛直反力の動的増幅率の結果を示す．図-5 より左側の主桁の支間中央の鉛直変位 v_L の動的増幅率は載荷質量比によらず 1.1～1.3 程度の値で変動しており、載荷質量比の影響をあまり受けていないことが確認できる．一方、右側の主桁の鉛直変位 v_R の動的増幅率は 1.5～2.5 の範囲で分布し、左側の主桁よりも全体的に動的増幅率は大きくなっている．また、図-5 から右側の主桁の鉛直変位 v_R は特徴的な傾向を示していることが確認できる． k が 1.2 までは動的増幅率は緩やかに増加し、 k が 1.2 から 1.4 までの範囲で一旦大きく減少した後、最終的に動的増幅率は 1.5 程度の値で収束している．

つぎに、図-6 に示される載荷質量比 k と鉛直反力の動的増幅率の関係を確認すると、動的増幅率の分布は左右の主桁でそれほど差は生じておらず、おおよそ 1.1～1.3 程度の範囲で分布している．このとき、左側の主桁については、ほぼ動的増幅率が 1.2 程度の一定値を示しているのに対し、右側の主桁については、 k が 1.3 までは減少し、 k が 1.3 以降は緩やかに増加、最終的に動的増幅率は 1.2 程度の値で収束している．

鉛直変位、鉛直反力のいずれのケースにおいても右側の主桁で部材破断の影響が大きく、動的増幅率は k が 1.3～1.4 程度の範囲まで減少傾向にある．これは部材の塑性化が影響したためであると考えられる．

5. おわりに：載荷質量比 k が 2.7～3.0 のときに全体系の崩壊を確認した．また、載荷質量比 k が 1.3～1.4 程度の範囲で部材の塑性化が進行し、それにより部材破断側の主桁で動的増幅率が大きく変化することを確認した．

参考文献：1) 土木学会 鋼構造委員会：鋼構造物のリダンダンシーに関する検討小委員会報告書，2014