

I-A 293 構造物の損傷補修と供用時の安全性照査

長野県	大町建設事務所	田口文正
宮地鐵工所	先行技術研究室	正会員 能登宥愿
同 上	同 上	正会員 ○増田高志
同 上	松本工場生産設計課	正会員 金原慎一

1. まえがき

本橋（逆ランガー形式，アーチ支間：34.0 m）は洪水の激流により岩石が橋体に衝突して，アーチ部材，垂直材等の切断，変形の損傷を生じた。その復旧にあたり，短期間で安全に行える補修方法（橋上の架設用 I 桁を使用したケーブル吊上げ工法）を，構造解析で安全を確認して決定した。

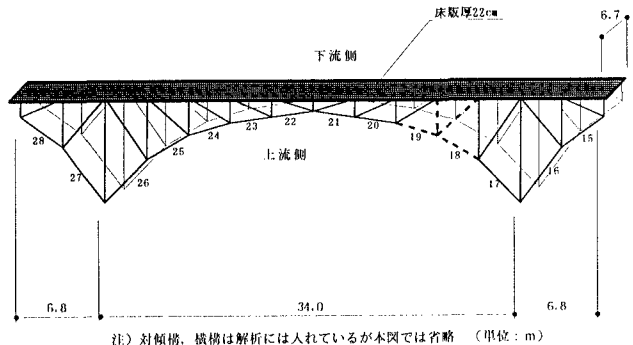
損傷時，補修時，供用時の安全性確認の裏付けとなる構造解析は，解析始点を当初の完成系とし，各段階についてケーブル要素（補修時のみ）を使用した有限変形理論で連続的に行った。

応力測定調査は本線復旧までの数年間の供用が予定されていることから，T-20 荷重1車両（橋梁上に1台）に近似的に相当するクレーン車（重量 23.3ton）の载荷に対する応力および鉛直たわみの測定を行い，その補修効果の確認を行ったものである。

2. 補修方法および構造解析

構造形状を主部材と対傾構，横構等の2次部材さらに床版を含めた立体板要素付き骨組モデルとし，損傷時の大きな変形を追跡するために，有限変形理論で解析を行っている。

補修要領としては非損傷側（下流側）の主構面を当初の完成状態に，損傷側（上流側）の主構面を解析上の無応力状態まで吊り上げながら補修する方法で，補修後が新しい死荷重完成状態となる。ここでの構造系は床版を考慮（上弦材との重ね梁であり，合成梁ではない）するか，しないか二通りあり，床版接合部の損傷度によっては中間と考えられる。



注) 対傾構，横構は解析には入れているが本図では省略（単位：m）

図-1 板要素付き骨組構造解析モデル図

静止した活荷重の計測値から判断すると，現時点の床版状態では，床版有りの構造系の解析値に近いと言える。死荷重応力は床版の有無について，極端な相違もないので，安全を考えて大きい方の応力を採用する。また構造モデルおよび解析の仮定も，後述の支間長の1/4，1/2点静的载荷の計測値と対比すると妥当であることが判った。

構造モデルの主部材同志は剛結合しているが，部材高／部材長の比が1/10以下なので，極端な変形をしてない状態では2次応力としての曲げ応力は微少である。但し，床版を直接支持している上弦材については，曲げモーメントの挙動に注意する必要がある。

後述の計測値（上流側または下流側車両走行時の応力値）をみると，解析値と同様殆ど曲げ応力が生じていないことがわかる。これは縦桁が5本あるため，間接载荷の様相を呈しているためと考えられる。

3. 応力調査

調査の目的は次の3点に着目した。

①着目した部材の応力が与えられた許容値以内に収まっているか。

②試験荷重車の繰り返し走行に対して部材応力が時系列的に安定しているか。

③構造系としての全体的バランス（右岸側と左岸側，上流側と下流側）を考えて，対称部材間で応力上問題はなにか。

測定は事前に重量の計測を行った2種類の荷重車を10Km/h程度の速度で走行させ，また所定位置に停止させ，着目箇所の応力ならびにたわみの走行時応答（応力，たわみ波形）とピーク値を記録した。

測定結果の処理方法としては次式で評価した。

$$\sigma d + \sigma \times \beta / \alpha \times (1 + i) \leq \sigma a$$

ここで， σ ：実測応力， β ：荷重車（重量23.3tf）のT-20に対する応力比

α ：実応力比（設計計算応力に対する実測応力の比=0.71））

i ：衝撃係数， σd ：死荷重応力， σa ：許容応力

4. 考察

本橋は昭和の初期に施工されているので，念のために材料試験を行いSS400相当の鋼材であることを確認した。

今回の構造物の供用時の安全性照査は，補修後活荷重によって主構に働く応力挙動を実橋測定することによって，また死荷重による応力は構造解析することによって求め，両者から安全を確認しようとしたものである。結果は，現時点で目標としている20t単独走行に対し問題となる点は認められなかった。

すなわち，今回の照査は前述の3点から，解析，測定した応力，変形に対して判断したものである。

- ①設計時に想定されている部材形状や二次部材の働きおよび継手の強度等が，補修後の施工で保証されているものと仮定すれば，部材応力が設計許容応力を超える部材はない。
- ②損傷が上下流の主構で異なるため（上流側に偏っている），補強も非対称となり，構造的にバランスを欠くことも懸念された。ここでは経験的な判断の目安として，活荷重による上下流の主構に作用する応力やたわみ量が，原則として10～20%までの違いを許容すると，特に問題はなかった。
- ③経時変化に対する安定は，安全を考える上で重要なファクターといえる。供用後，構造物の改造はなじみのでるまでは比較的安定しづらい傾向にある。ここでは，短期の安定に対して数回の車両走行から確認するために行ったもので，結果的には応力，鉛直たわみともほとんど変化なく，問題なしと判断できた。

5. まとめ

アーチ部材が衝撃的な荷重によって切断した，その近辺のRC床版と補剛桁の間には一部剥離した箇所があり，かつ格点のガセットも大きな損傷を受け，さらに部材もかなり変形した。特に後者のガセットおよびリベットの異常がどの範囲にまで及んでいるか，また変形の修復をどの程度まで行うかなど，明確にできない部分もあったが，今回の一連の業務で供用に対する確信がもてるに至った。

〈参考文献〉

- 1) 日本鋼構造協会；鋼構造物の疲労設計指針・同解説
- 2) 日本道路協会；道路橋示方書・同解説（Ⅱ鋼橋編），平成6年2月

表-1 死荷重+活荷重最大値による応力推定（衝撃係数考慮）

部材No	補修時	本取有	注取無	23.3tクレーン載荷活荷重			上流走行			下流走行			合計最大	許容応力
				計測点a	計測点b	計測点c	計測点a	計測点b	計測点c	計測点a	計測点b	計測点c		
上流側														
U-01	5	65	-99	-26	-35	-27	26	-40	-25	-17	-26	-26	-139	-1400
下流側														
U-11	19	-133	-214	-80	-82	-72	-102	-94	-84	-64	-64	-56	-316	-1243
U-12	18	-268	-301	90	92	-113	-120	-110	-135	-68	-78	-89	-436	-1224
U-13	17	-565	-632	-172	-182	-212	-205	-202	-246	-129	-140	-161	-878	-1146
U-14	24	-491	-644	-172	-168	-184	-227	-222	-28	-114	-121	-134	-871	-1227
D-11	119	-587	-716	-168	-162	-184	-114	-108	-125	-208	-208	-210	-956	-1227
中央側														
U-11	34	-165	-265	-152	-192		-225	-243		-92	-129		-508	-1103
U-12	32	-571	-387	-126	-231		-187	-267		-75	-164		-838	-863
U-13	32	-166	-212	-134	-186		-190	-215		-96	-127		-427	-1053
U-14	31	-383	-299	-168	-164	-198	-225	-208	-253	-116	-99	-126	-636	-809
U-15	30	-373	-318	-142	-224		-204	-278		-85	-159		-651	-874
D-11	134	-294	-292	-194	-115		-128	-71		-254	-182		-548	-1163
D-12	133	-352	-308	-187	-143		-132	-87		-246	-216		-598	-874
両側														
U-D1	48	244	275	257	237		334	306		178	178		606 (730)	1400
U-D2	47	618	349	253	197		313	263		185	150		931 (1116)	1400
U-D3	54	359	266	293	167		375	221		204	114		734 (1137)	1450
D-D1	148	333	280	239	259		161	176		321	360		693 (1074)	1400
D-D2	147	301	232	210	213		152	152		286	293		591 (920)	1400

注1) 各計測点で複数計測のうちの最大値を取り，その最大値で合計応力を算出

注2) 斜材の応力は左が軸断面値，右（括弧内）は軸断面値で考えた値