

落橋事故から見た鋼上部工の維持管理手法に関する一考察

大日本コンサルタント(株)石井 喜代志*

川田テクノシステム(株) 正会員 ○田巻 嘉彦**

川田テクノシステム(株)齋藤 道生***

1. はじめに

国内外の供用中の落橋事故に注目し、その原因に係わる要因を歴史的（「古代・中世・近世」と「近代」及び「現代」）に分類し、その主たる要因の背景を考察した。現代における落橋の特徴は、構造形式の冗長性が低い主要部材（特に引張部材）や吊桁の連結部に腐食や疲労による劣化が生じ、それが原因で落橋したケースが多いことである。すなわち、構造形式ごとの重要な部材の維持点検が適切に行われていないことが、主要因と言える。したがって、維持管理の面から、冗長性の低い構造形式を紹介し、その維持管理上の重点項目について考察を行う。

2. 竣工後の落橋事故（歴史的・構造形式別分類）

橋の竣工後の落橋原因を大きく分類すると、1. 自然災害や自然劣化に起因するもの、2. 作為的ではない人為的な要因に起因するもの、3. 材料とその接合法に起因するもの、4. 設計及び製作施工精度に起因するもの、5. 構造特性に起因するもの、と大別することができる。表－1 竣工後の落橋事故^{1), 2)} (件数)

年代	落橋の要因	吊橋	木橋	石橋	桁橋	トラス	アーチ	斜張橋	ラーメン橋	その他	吊橋以外計
古代・中世・近世 (～1800年)	自然災害		1	1							2
	人為的災害			4						1	5
	小計(件数)		1	5						1	7
近代 (1800～1950年)	自然災害	24	1		1	1					3
	人為的災害	44				2	1				3
	風	13			1						1
	腐食・疲労	3			5		1				6
	設計施工ミス	21				3				1	4
	小計(件数)	105	1		7	6	2				17
現代 (1950年～)	自然災害				2					3	5
	人為的災害		1		2	1	1				5
	風				1						1
	腐食・疲労	2	1		6			2	1		10
	設計施工ミス	2			1	2					3
	小計(件数)	4	2		12	3	1	2	1	3	24
計(件数)		109	4	5	19	9	3	2	1	4	48

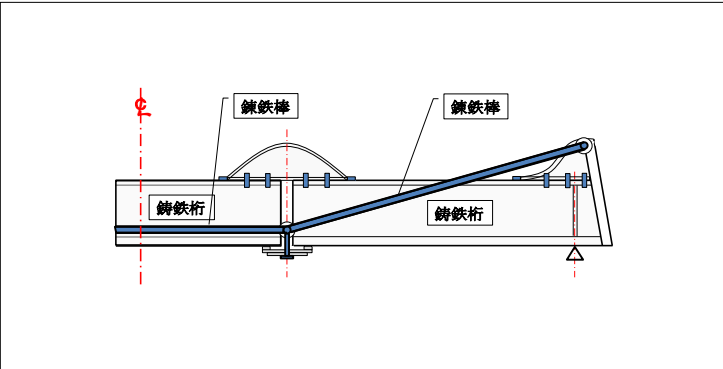
「自然災害」:洪水・氷・雪・地滑り等但し地震は除く、「人為的災害」:過度の荷重(群衆・家畜・軍隊)・戦火・火災・爆破・放置及び放棄、「設計施工ミス」:載荷試験を含む
「木橋」には、舟橋・トラス構造・アーチ構造を含む、「石橋」には、桁構造・アーチ構造を含む、「ラーメン橋」には、斜めラーメン橋を含む、「その他」には、構造形式不明・橋梁群を含む

表－1は、供用後の落橋事故の要因を「自然災害」「人為的災害」「風」「腐食・疲労」「設計施工ミス」に分類し、時代ごとに集計したものである。年代ごとの特徴を捉えると、

「古代・中世・近世」(～1800年): 木橋及び石造(アーチ)橋の年代。経験工学であり、多数の橋が自然災害や人為的災害、あるいは維持管理を行わず放置されたまま落橋したと思われる。

「近代」:(1800年～1950年): 弾性理論の芽生えと発展の時代。鉄・コンクリートの発明とその接合方法・製作施工技術の発展、新しい材料を用いたトラス・吊橋構造の理論の発展。この年代は、いわば各構造形式におけるスパンの長大化に伴う未知の挙動(ねじりと風)への絶えざる挑戦の時代であった。

この年代の特徴的な落橋事故は、Dee 橋(1847年落橋 トラス複合構造システム ロバート・ステューブソン設計)の落橋である。この橋の構造は、図－1に示すように3本の鑄鉄I桁を直列に鍊鉄製の連結棒で組まれたトラス構造であった。スパン



図－1 Dee 橋の軸方向の構造（「橋はなぜ落ちたか」より描画）

キーワード 落橋事故、構造特性、冗長性、維持管理
連絡先 ** 〒114-0023 東京都北区滝野川 6-3-1

総合技術部 TEL 03-6758-9095

ンが伸張すると共に、連結棒に張力が導入された。この橋の列車走行中の落橋事故は、スパンの伸長と共に増大した捩れにより、連結部が破断したことが原因であると考えられている。この40年後の1890年前後10年で、アメリカ合衆国とカナダで250橋以上の鉄道橋が落橋したといわれている²⁾。このように、既存設計の過度のスケールアップにより、未知の力で不安定性が増大し、結果としてそれまで成功していた設計の脆弱化につながった。

「現代」(1950年～)：有限変形理論・有限要素法等の解析理論の発展。材料の高強度化と溶接接合の発展。ラーメン構造・PC構造・斜張橋の時代。

この年代の特徴的な落橋事故は、「腐食・疲労」が主要因となる。「NOTES ON BRIDGE FAILURES TAKEO FUKUDA 1979」の記録では、すべて疲労による脆性破壊が原因であるが、それ以外の記録では、吊径間を有する構造形式が多い。また、吊橋・斜張橋の主部材である主ケーブル(斜ケーブル)の破断により落橋するケースが増加している。このように、代替の出来ない引張部材である主部材や引張りを受ける連結部材(吊桁の連結部)が破損することにより直接的に落橋を招く構造形式は、一般的に冗長性の低い構造と言えよう。代替の効かない引張部材を主部材とする構造が維持管理のされないまま放置された場合の危険性が危惧される。引張部材は鋼(棒材や線材あるいは板材)で構成される場合が多いため、断面の減少を招く腐食や疲労による損傷に充分注意しなければならない。図-2に主部材またはその連結材が引張力を受ける構造形式を示す。

そして、「将来」は、主要部材に引張材が用いられたキングポストトラス、斜張橋(ケーブル形式がシングルケーブルタイプ)、吊床版橋、吊橋等の構造形式の構造特性を十分に把握し、特にその接合部における引張材の腐食の防止に注意しなければならない。

図-2において示した丸印は、特に注意を要する主部材の端部及びその連結材等を示している。この部位に腐食や疲労損傷が進行すると、主部材等が破断され、それが原因で構造が崩壊する。したがって、棒材・線材および板材の錆び方の違いや材料特性を良く認識した上で、劣化状態を明確に診断する必要がある。

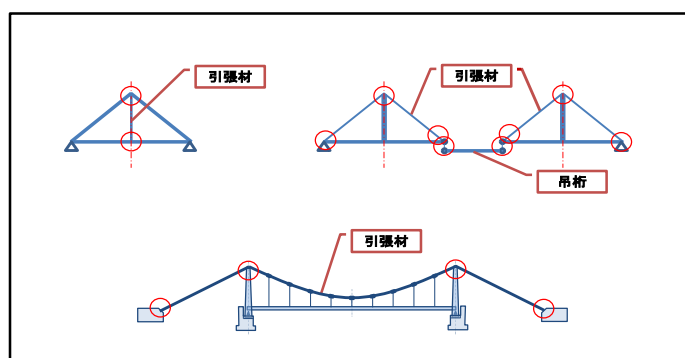


図-2 冗長性に影響する注意箇所

3. まとめ

橋が造られた後に設計技術が進んだこと、材料の高強度化に対して接合技術の進展が遅れたこと、構造形式のスケールアップにより未知の不安定性が増大したこと、これらが落橋の背景には潜んでいる。そして、主部材が引張力を受ける構造形式の構造特性を捉え、その構造形式の維持管理上の留意点を述べた。写真-1には、図-2に相当する橋梁の一例を示す。以上のことを今後の維持管理に反映させたいと考えている。

本研究は、鋼橋技術研究会 鋼橋の劣化機構検討部会(部会長：ものづくり大学・大垣賀津雄)の活動内容であり、関係各位からご指導いただきましたことを感謝いたします。



写真-1 澳門友誼大橋(マカオ半島～タイバ島)著者撮影(1994年開通、供用中)

参考文献

- 1) 「NOTES ON BRIDGE FAILURES」 TAKEO FUKUDA 1979
- 2) 「橋はなぜ落ちたのか 設計の失敗学」ヘンリー・ペトロスキー著/中島秀人・綾野博之訳 2001年
- 3) 「材料力学史」S・P・ティモシェンコ著/最上武雄 監修 川口真宏訳 1974
- 4) 「建設技術史 工学的建造技術への発達」H・シュトラウプ著/藤本一郎訳 1976
- 5) 「ヴィクトリアン・エンジニアリング 土木と機械の時代」L・T・C・ロルト著/高島平吾訳 1989