

鋼トラス橋の補強設計計算における作業効率化の一事例

株式会社 長大
株式会社 横河技術情報

正会員 ○青柳 竜二, 株式会社 長大 小林 尚哉
下山田 孝志

1. はじめに

昨今、高度経済成長期以降に整備された道路橋は、経年劣化や現行活荷重への対応、死荷重の増加等により、床版取替えや主構補強等の大規模更新事業が数多く行われている。他方で、鋼橋の補強設計における断面計算は、作用荷重に応じて抵抗断面が異なるなど、計算が複雑化することから、予てより表計算ソフトを用いてオーダーメイドの計算を行ってきた。このような従来の手法は、厳しい設計条件下ではトライアル検討が多く、橋梁設計技術者も不足する中で円滑に業務を遂行するためには、設計業務の効率化が急務である。

本論では、軸力の影響を受ける鋼トラス橋の補強設計を例に、従来の補強設計における課題と、補強設計に対応したプログラムの活用効果について述べる。

2. 補強設計に対応したプログラムの概要

本補強設計では、鋼橋設計システム(APOLLO)の補強断面計算プログラムを使用した。本プログラムは、表-1に示すように構造解析より算出した断面力と連動して断面計算が可能となる等以下の特徴を有している。

①さまざまな補強部

材の設置に対応

②ボルト孔引きを考慮した作用応力度の算出

③応力度の足し合わせ機能

④構造解析システムとの断面力連携

表-1 鋼桁補強設計の特徴

鋼桁補強設計の特徴		
【設計項目】	【設計手法】	
① 構造解析	従来の設計 (汎用プログラム)	補強プログラム (汎用プログラム)
② 断面照査	(汎用プログラム)	(汎用プログラム)
③ 補強計算	(表計算ソフト)	(補強プログラム)
・断面力連携	手動	⇒ 自動
・応力度の足し合わせ	手動	⇒ 自動
・各補強部材への対応	手動	⇒ 自動
④ 孔引き計算	(表計算ソフト)	(補強プログラム)
・孔引き計算	手動	⇒ 自動
⑤ 補強手法や位置の見直し		

2. 鋼橋の補強設計における課題

従来の設計では、以下の課題等により表計算ソフト内の計算が煩雑となり、設計手間が増えるだけでなくヒューマンエラーも懸念される。

(1) 鋼橋の補強設計における共通の課題

1) 作用荷重に応じて抵抗断面が異なる

施工ステップを考慮した場合の抵抗断面は、補強前

の死荷重に対しては既設断面、補強後の死荷重や活荷重に対しては、補強後断面となる。補強設計では前者と後者を足し合わせた応力度で照査を行う必要がある。

2) さまざまな補強部材や配置への対応

補強設計では、応力の超過部位や程度に応じて、複数の補強手法(当て板、リブ増設、炭素繊維貼付等)を検討する。その際、補強部材断面や配置により、断面二次モーメント等の断面性能を都度算出する必要がある。

(2) 軸力を受ける部材の補強設計における課題

道路橋示方書¹⁾の規定を表-2に、弦材を例とした照査箇所を図-1に示す。

1) 軸力を受ける両縁支持板としての制限値の設定

圧縮応力を受ける板の制限値は、応力勾配 ϕ による係数 f によって変動するため、各板両縁の応力度の算出が必要となる。そのため、補強断面のトライアル検討の度に、図-1に示すような数多くの応力度を計算する必要がある。

2) 軸力と曲げモーメントを受ける部材として安定照査

軸力と曲げモーメントを受ける部材の安定の照査では、補強断面や有効座屈長に応じて、部材毎に強軸と弱軸を設定した照査計算が必要となる。補強方法変更時には、強軸と弱軸を都度確認する必要がある。

表-2 軸力と曲げモーメントを受ける部材の設計

軸力を受ける両縁支持板の制限値	軸力と曲げモーメントを受ける部材の安定の照査式
既定の板厚以下となる場合の制限値は以下で規定される。 $\sigma_{cal}(N/mm^2) \leq 210,000(f/b)^2$ ここに、 t : 板厚(mm) f : 応力勾配による係数 $f=0.65\phi^2+0.13\phi+1$ ϕ : 応力勾配 $\phi=\sigma_1-\sigma_2/\sigma_1$ σ_1, σ_2 : 板の両縁での縁応力(N/mm ²)	軸方向力が圧縮の場合の照査式は以下のとおり。 $\sigma_c/\sigma_{cal} + \sigma_{bcy}/\sigma_{bcy} + \sigma_{bz}/\sigma_{bz} + \sigma_{ca}/\sigma_{ca} + \sigma_{az} \leq 1$ $\sigma_c/\sigma_{cal} + \sigma_{bcy}/\sigma_{bcy} + \sigma_{bz}/\sigma_{bz} + \sigma_{ca}/\sigma_{ca}$ $\alpha=1-\sigma_c/0.8\sigma_{cal}$ $\sigma_{ca}=\sigma_c^2/E/(t/r)^2$ ここに、 $\sigma_{ca}, \sigma_{bcy}, \sigma_{bz}, \sigma_{ca}, \sigma_{cal}$: 示すに規定される制限値 $\sigma_c, \sigma_{bcy}, \sigma_{bz}$: 軸方向力および曲げモーメント σ_{ca}, σ_{az} : 付加曲げモーメントの影響を考慮する係数 σ_{ey}, σ_{ez} : オイラー座屈応力度 y, z : 強軸および弱軸まわりを示す

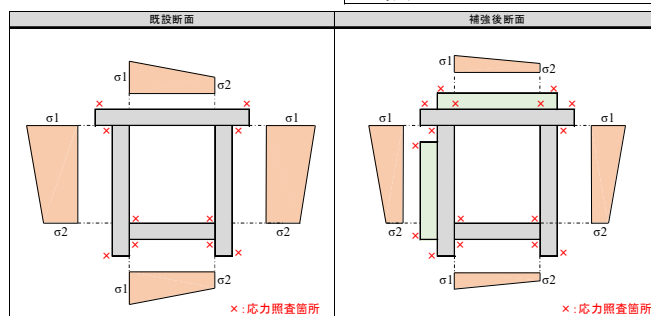


図-1 応力照査位置と応力勾配算出の一例

キーワード 鋼トラス橋、補強設計計算、床版取替え、大規模更新事業

連絡先 〒111-0041 東京都台東区元浅草 2-6-6 長大 構造事業本部 第一構造事業部 TEL 03-6860-5976

(3) 施工時の照査における課題

施工時には、施工安全性を確認するため、レーン載荷やクレーン載荷、吊足場等の多様の荷重ケースに対しての照査が求められる。その荷重ケースに応じて、例えば引張部材では既設部材と補強部材のボルト連結部に対し、孔引き影響を考慮した照査が必要となる(表-1 参照)。照査を満足しない場合、補強手法や孔あけ本数、補強位置の見直し等のトライアルが必要となる。

3. 補強断面計算プログラムを用いた対応例と活用効果

(1) 共通の課題に対する対応例と効果

上弦材を対象に補強断面と諸元の出力例を表-3 に示す。補強断面計算プログラムでは、荷重ケースに応じた任意の抵抗断面での応力度を算出し、各照査点でそれらの応力度の足し合わせによる照査が可能であった。補強断面や配置に応じた断面性能も自動で算出が可能となり、都度断面性能を算定する手間を省略できた。

表-3 補強断面検討と断面諸元の出カ例

補強断面例(上弦材)

断面諸元(上弦材)

・形状-1 (断面力ケース[1] [3]) 前死荷重抵抗

断面構成	断面積 (cm ²)
1-Top	PL 500 * 22 (SM490)
1-LWeb	PL 650 * 9 (SM490)
1-RWeb	PL 650 * 9 (SM490)
1-Bott	PL 400 * 22 (SM490)

断面諸量	断面積	A (cm ²)
	重心位置	ex (cm)
		ey (cm)
	断面2次モーメント	Ix (cm ⁴)
		Iy (cm ⁴)

・形状-2 (断面力ケース[2] [4]) 活荷重抵抗

断面構成	断面積 (cm ²)
1-Top	PL 500 * 22 (SM490)
1-LWeb	PL 650 * 9 (SM490)
補強 1-PL 12 #B20	(SM490)
1-RWeb	PL 650 * 9 (SM490)
1-Bott	PL 400 * 22 (SM490)
補強 1-PL 12 #B70	(SM490)

断面諸量	断面積	A (cm ²)
	重心位置	ex (cm)
		ey (cm)
	断面2次モーメント	Ix (cm ⁴)
		Iy (cm ⁴)

(2) 軸力を受ける部材の課題に対する対応例と効果

補強断面計算プログラムでは、上弦材の各板の両縁の応力勾配を考慮した制限値が自動算出され、かつ強軸・弱軸まわりを自動で識別し、安定の照査が C_{nm} として出力された(表-4 参照)。また、補強後でも応力超過が生じる場合には、「ストレスオーバー」と表示されるため、トライアル検討の必要箇所が一目で確認できた。

表-4 応力照査の出力例

補強後断面における応力照査出力例

組合せケース(2) 1階、1階

照査点

		σ ₁	σ ₂	σ ₃	σ ₄	σ ₅	Σ	σ _{eq}	σ ₃₅	C _{lim}
Top	[1]	-79.2	160.1	-89.2	0.0	-168.3	185.0	171.5	1.0	
	[2]	-79.2	160.1	-89.2	0.0	-168.3	185.0	171.5	1.0	
	[3]	-79.2	160.1	-89.2	0.0	-168.3	185.0	171.5	1.0	
	[4]	-79.2	160.1	-89.2	0.0	-168.3	185.0	171.5	1.0	
	[5]	-79.2	160.1	-89.2	0.0	-168.3	185.0	171.5	1.0	
	[6]	-79.2	160.1	-89.2	0.0	-168.3	185.0	171.5	1.0	
	[7]	-79.2	160.1	-89.2	0.0	-168.3	185.0	171.5	1.0	
1F-be	[8]	-79.2	127.1	-83.2	0.0	-162.4	146.8	165.4	1.1	
	[9]	-79.2	127.1	-83.2	0.0	-162.4	146.8	165.4	1.1	
1-PL	[10]	-79.2	127.1	81.6	0.0	2.4	185.0	-5.3	0.2	
	[11]	-79.2	160.1	86.5	0.0	7.4	185.0	-10.4	0.0	
	[12]	-79.2	160.1	91.5	0.0	12.3	185.0	-15.6	0.0	
	[13]	-19.5	175.0	-37.4	0.0	-56.9	175.0	0.0	0.0	
	[14]	-79.2	127.1	-83.2	0.0	-162.4	146.8	165.4	1.1	
	[15]	-79.2	127.1	-6.8	0.0	-80.0	146.8	80.1	0.6	
	[16]	-79.2	160.1	86.5	0.0	7.4	185.0	-10.4	0.0	
1-RB	[17]	-79.2	160.1	91.5	0.0	12.3	185.0	-15.6	0.0	
	[18]	-79.2	127.1	-6.8	0.0	-80.0	146.8	80.1	0.6	
2-PL	[19]	-79.2	127.1	81.6	0.0	2.4	185.0	-5.3	0.2	
	[20]	-79.2	160.1	86.5	0.0	7.4	185.0	-10.4	0.0	
2-RB	[21]	-79.2	160.1	91.5	0.0	12.3	185.0	-15.6	0.0	
	[22]	-79.2	127.1	-6.8	0.0	-80.0	146.8	80.1	0.6	

2) 応力の照査が C_{lim} として算出される

1) 版枚制限値が軸方向力を受ける両縁支持状態として算出される

ストレスオーバー

ストレスオーバー

(3) 施工時の照査における対応例と効果

斜材を対象に、施工時の孔引き照査を行った出力例を表-5 に示す。孔引き照査は、孔引き前の応力度に孔引き係数を乗じた応力度に対して行っている。施工時における荷重ケースが変更となった場合でも、表-1 に示すように構造解析で算出された断面力が断面計算に連動可能のため、従来の手動での断面力読み込み時における手間が省け、効率化が図れる。

表-5 孔引きを考慮した応力照査例

孔引きを考慮した応力照査例					
断面力ケース毎応力度 (N/mm ²) ※断面力が全て0のケースは出力を省略する					
断面力ケース [1]		D			
	[照査点]	σ_n	σ_{mx}	$\Sigma \sigma$	
UFLG	[1]	236.3	0.0	236.3	
	孔引 [214.2	0.0	214.2) × 1.103	孔引き係数	
	[2]	236.3	0.0		236.3
	孔引 [214.2	0.0	214.2) × 1.103		
	[3]	236.3	0.0		236.3
	孔引 [214.2	0.0	214.2) × 1.103		
WEB	[4]	214.2	0.0		214.2
	[5]	214.2	0.0	214.2	
LFLG	[6]	236.3	0.0	236.3	
	孔引 [214.2	0.0	214.2) × 1.103		
	[7]	236.3	0.0	236.3	
	孔引 [214.2	0.0	214.2) × 1.103		
	[8]	236.3	0.0	236.3	
	孔引 [214.2	0.0	214.2) × 1.103		

4. まとめ・今後の展望

鋼トラス橋の補強設計計算を例に、鋼橋設計システム(APOLLO)の補強断面計算プログラムを使用した結果、構造解析で出力された断面力が連動され、抵抗断面ごとの応力の足し合わせが可能であり、制限値も自動で算出されること、孔引き応力照査が可能であることを確認できた。補強断面計算プログラムは、従来の設計手法と比較し、ヒューマンエラーの防止効果が期待でき、手動での複雑な計算過程を省略し作業効率化が図れるため、補強設計において有効な手法だと思われる。

また、更なる鋼橋の補強設計計算の効率化・高度化に向けて実設計で確認された以下の課題をクリアできるように研究開発を進めていきたい。

- ①建設時の鋼桁が現行基準の規定板厚を満足していない場合、汎用プログラムでは制限値にエラーが生じる事への対応.
- ②今後、補強部材が局部座屈などの制限値低減防止にどの程度効果があるかの定量化. 既設部材と補強部材が共同する効果を考慮した照査の実施.
- ③補強部材が構造解析に自動反映され、橋全体としての収束計算の実施.

参考文献

- 1) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説Ⅱ鋼橋編，2012年3月