

[討議・回答]

後藤芳顕 共著
川西直樹

「腐食や補修の影響を考慮した長期間の力学的性能評価のための構造解析法の開発」への討議・回答

(土木学会論文集, No.689/I-57 2001年10月掲載)

▶ 討議者 (Discussion)

中井 博 (福井工業大学)

Hiroshi NAKAI

近年、何十年か前に建設された鋼橋の維持管理の問題が大きくクローズアップされてきており、その中でも、断面が腐食を起こした鋼橋の残存する保有耐荷力を何らかの方法で評価し、あるものは補修・補強を施し、さらに何年か先まで供用してゆくことが、21世紀に向けて橋梁工学の一つの重要なテーマとなってきました。

本論文では、腐食を起こした鋼橋の残存する耐荷力を著者らが提案する仮定のもとに、解析する一つの手法を構築し、また鋼トラス、および鋼ラーメン橋に対して様々な数値解析が行われています。そして、それら構造物の種々な力学的性能が評価され、今まであまり試みられなかった考察を加えられている点が先駆的であると評価し、一読者として、著者らの研究に対して敬意を表しております。

しかしながら、読ましてもらいましたところ、一読者として、解析手法に疑問点があるように、見受けられました。すなわち、鋼橋の部材が永年にわたり腐食を起こして断面積が次第に変化する場合や、あるいは補修・補強がある時に突然に施して、鋼橋の断面が変化をきたす場合、必ず鋼橋は、経時的な挙動を呈するものとみなして捉えるべきであるように思われます。

しかるに、そのような任意の断面変化をきたす鋼橋に対しても、本論文における式(1)から、本論文の式(3)が導けるものとし、断面の変化 ΔA を微小に採れば、対応可能であるとする解析手法が、あらゆる場合に対して有効なのでしょうか。一読者と致しましては、そのような観点より、著者らの提案された解析手法に、いささか疑問点があるように感じられました。

一読者が考えますに、まず、ある構造要素の腐食現象を、 A を断面積、 t を時刻、また $f(t, A)$ をその関数とすれば、

$$\frac{dA}{dt} = f(t, A) \quad (a)$$

と表現して、この現象を設定された初期条件(腐食はもちろん、補修・補強を含む)のもとで、ある時刻にわたって解析し、 ΔA_1 を求める。つぎに、ある固定さ

れた時刻 t_1 において、著者らの提案する解析手法に基づき、この断面変化 ΔA_1 を考慮してF.E.M.解析し、力学的性能評価を行う。さらに、式(a)に戻って経時挙動を解析し、新たな断面積の変動 ΔA_2 を求める。以下、これらの解析を、逐次、進めてゆくことによって、断面積がいかようにでも変化し、それゆえに任意の断面変化のもとでの長期間にわたる正確な力学的性能が、評価できるのではないのでしょうか?

ちなみに、これまでの土木学会論文集で発表されたこの種の課題に関する数々の研究成果を思い出してみますと、①上記の式(a)の経時挙動は、Runge-Kutta-Gill法(数学的手法)、Newmarkの β 法(物理的手法)、あるいは中央差分法(ハイブリッド実験手法)^{1)~2)}、もしくは数値ラプラス逆変換法^{3)~4)}を応用して解析されてきている。しかるのち、②ある一定の時間場 t_i においては、断面積が変化しない状態のもとで仮想仕事の原理に基づくF.E.M.で3次元的な解析が行われてきております。

著者らも論文の“まえがき”でも述べられたように、腐食や補修の影響を考慮して鋼橋を維持管理してゆることがこれから、ますます、重要、かつ不可欠になるのに鑑み、上で述べさせてもらいました一読者のお尋ねに対して、著者らがどのようなご意見を持っておられるかを、お尋ね致します。

参考文献

- 1) Masakazu Shirooka, Luiza H. Ichinose, Takashi Yamaguchi, Toshiyuki Kitada and Hiroshi Nakai: Development of a Visco-Elastic Analysis Program for Cable-Supported Steel Bridges, *Proceeding of 5th Korea-Japan Joint Seminar on Steel Bridges (JSSB-KJ5)*, Pusan, Korea, pp.129-134, October 1999.
- 2) 北田俊行, 中井 博, 狩野正人, 岡田 潤: 単柱形式の鋼製橋脚の局部座屈を考慮した弾塑性動的応答解析法の構築, 鋼構造の非線形解析と耐震設計法の応用に関する論文集, 土木学会鋼構造委員会, pp.255~262, 1998年11月.
- 3) Niwa, Y., Nakai, H., Watanabe, E. and Yamada, I.: Long Term Behavior of Cables in Cable-Stayed Bridges, *Proc. of JSCE, No.368/I-5, Structural Eng./Earthquake Eng.*, Vol.3, No.1, pp.33s-43s, April

1986.

4) Watanabe, E., Hayashi, K., Takenaka, H. and Nakai, H. : On Creep and Relaxation of Composite Girders with Precast Prestressed Concrete Slabs, *Proc. of*

JSCE, No.392/1-9, Structural Eng./Earthquake Eng., Vol.5, No.1, pp.71s-79s, April 1988.

(2002.3.26 受付)

▶回答者 (Closure) _____ 後藤芳顕 (名古屋工業大学) ・ 川西直樹 (豊田工業高等専門学校)
Yoshiaki GOTO and Naoki KAWANISHI

はじめに著者らの論文に対してご討議いただいたことに感謝いたします。

本論文は、腐食や補修の影響を考慮した長期間の力学性能評価のための構造解析法について述べたものであり、これまでの荷重や変位などの制御パラメータに加えて、腐食や補修による部材の断面変化量 ΔA を新たな制御パラメータとして導入することにより、鋼構造物の供用期間における力学性能変化を時系列的に直接評価することが可能であることを示しております。

討議の論点は、討議者が示されている式 (a) の腐食や補修による断面変化過程における断面変化速度の式 ($dA/dt = f(t, A)$) を何らかの方法で逐次積分して微小断面変化量 ΔA を算定し、それを著者らが提案した手法の式 (3) の微小断面変化量 ΔA として力学性能の評価を行うべきではないかという点にあると推察します。

討議者の述べられているような $f(t, A)$ が既知の場合には、式 (a) を逐次積分し、微小断面変化量 ΔA を予測し、力学性能の評価を行うことはもちろん本解析法では可能です。すなわち、討議者の提示された解析手続きと著者らの定式化とは何ら矛盾するところはありません。ただ、腐食による断面変化速度 $f(t, A)$ は橋梁の周辺環境、構造形式や部位などの影響を受けるため未解明な点が多く、この関数を正確に規定するのが困難であるのが現状です。腐食した橋梁の残存耐力を評価する場合、供用当初の初期の断面状態 (A_0 状態) と現在の腐食した断面状態 (A_1 状態) のみが既知な場合がほとんどです。したがって本論文では $A_0 \sim A_1$ の間における断面変化過程は式 (20) に示しますように線形補間しています。現在の腐食した断面状態 (A_1 状態) での力学性能を評価するだけであればこのような手法

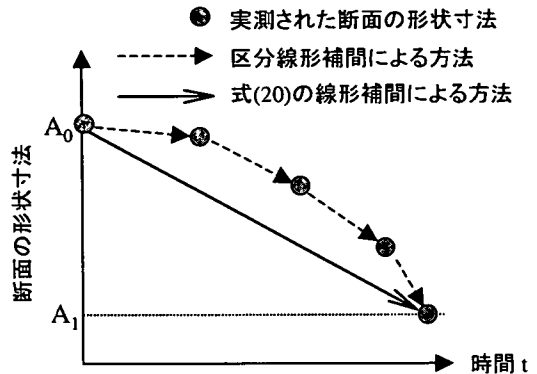


図-a 断面形状と時間の関係

でも十分正確な値が得られます。現在に至るまでの腐食部材断面形状がより多くの時刻で実測されれば、図-a に示すように区分線形補間による方法は当然ながら $dA/dt = f(t, A)$ の解に近づき、現在に至るまでの力学性能の変化も評価することができます。本解析法は部材断面の腐食や補修による変化過程がわかれば、どのような場合にも適用でき、任意の時点での力学性能を評価することができます。

なお、本論文の p.87 左上 1 行目～6 行目に記したように、腐食による断面変化速度 $dA/dt = f(t, A)$ は非常に遅く、時間効果は無視できます。つまり、腐食速度の影響は無視でき、断面変化量 ΔA のみを制御変数とした式 (3) に示す静的な支配方程式の適用が可能となることを再度申し添えます。

(2002.8.23 受付)