

Ⅳ－6 高校の土木応用力学をどのように教えるか

東京都立小石川工業高等学校 正会員 三浦 基弘

(a) はじめに

どの教科もわかりやすく、しかも楽しく教えたいと思うのは、教師の共通した課題である。しかし、十数年、「土木応用力学」の講義を担当しているが、必ずしも十分に生徒の学力をつけまいるとはいえない。不十分な点が多くないと思っている。

土木工学のカリキュラムの中で応用力学は、基礎的な科目として重要な位置を占めているにもかかわらず、生徒にとって嫌いな科目のひとつになっている。この点をなんとか解決していかなければと考えてきた。

筆者が高校生の時、先輩より自然科学の分野で「物理」の教科は「計算」、「化学」の教科は「暗記、だと教え込まれたことを、いまでも忘れない。本来、そうあってはならないはずの学問が、受験教育の中でゆがめられてきたことも事実である。翻って「応用力学」について考えてみると、講義の内容は主として計算法のみが講述され、力学の体系がどのような過程で成立してきたのかあまり追究されていなかった。筆者は講義の中で専門分野の歴史的側面を織りこむことにより、生徒が興味を示してきたことを幾度も体験をした。このことは、いまでもこの土木学会関東支部年次研究会に発表してきた。今回は角度をかえて、フォース橋の構造とその歴史的背景として筆者が新たに調査をし知り得たことを報告したい。

(b) フォース橋 (The Forth Railway Bridge) 建造時の歴史的背景

南下政策をとるロシアはトルコ領パレスチナの聖地管理問題からギリシャ正教徒を名目としてトルコと開戦をした。フランスのナポレオン3世は国威発揚をめざし、イギリス、サルジニアと共にトルコを援助した。戦いはセバストポリ要塞戦に終結したが、1856年のパリ条約でロシアの南下政策は阻止されトルコの保全が約束された。この戦いは有名なクリミア戦争(1853～56)である。この戦いでロシアが敗れた原因のひとつとして、ナポレオン3世の出した懸賞にひかれ大砲に使う良質鋼の製法を研究し、ついに転炉法の技術を考案した人物のことを事実としてあげられている。

1855年、ベッセマーが転炉法による鋼を発明し、はじめて銑鉄から過剰な炭素とケイ素を除きとることに成功した。以来いまでは、圧縮材としてしか用いられなかった鉄が引張材としても使用できる優れた構造材が生まれた。1860年代に入ると、マルタンとジメンスが平炉法によるジメンス・マルタン鋼を発明(1865年)し、廉価でしかも大量に良質の鋼が生産されるようになり、1880年から橋梁は鋼橋時代のあけぼのを迎えることになるのである。産業革命により鉄道の発達はめざましいものがあったが、イギリスはエディンバラから東北に通ずるスコットランドの東海岸のフォース海峡に一大鋼橋の架設を計画した。

(c) フォース橋の設計者は ブーチからファウラーとバーカーに

フォース橋の計画が鉄道会社合同でなされ、主任設計技師として選ばれたのはテイ橋の成功によって名声を博したトーマス ブーチ(Thomas Bouch)であった。テイ橋は銑鉄柱に架けられたスパン(径間)が約60mの練鉄ラチス(格子)橋で85径間もあり全長が約3kmあった。ところが完成2年後の、年もおしせまる1879年12月28日、強風によってテイ橋の橋桁が吹き飛ばされた(写真-1)。運悪く6輦編成の旅客列車が通過中で、75名の死者を出した。そのためブーチは檣舞台から下ろされ、しかも橋が落ちた4ヶ月後に苦悩しながら世を去った。代りにジョン ファウラー(John Fowler)とベンジャミン バーカー(Benjamin Baker)が設計を担当することになった。当時、ファウラーの工務所にいたバーカーがカンチレバー(ゲルバー)橋を提案し、事件以来、眠っていた計画を蘇らせたのである。



崩壊したテイ(Tay)橋(写真-1)

(d) 風圧に抗してパイプ状の鋼材を起用

テイ橋の墜落原因は、風圧といわれている。ブーチが設計の際、使用したものはスミートンが王立協会にノク

59年に提出した風圧についてのデータがあった。たとえば暴風で1平方フィート当り12ポンド(約58.6kg/m²)としていた。

ベーカーは設計に際して考慮すべき風圧を決定するための実験を数多く試みた。たとえば、模型をつかってひとつのトラスが他のトラスにかかる風の影響とか、格子箱桁や管状部材に対する風の作用が、それぞれどのように異なるかというものである。



フォース橋の脚部構造 (写真-2)

その結果、構造物の前面の2倍の面積に作用する風圧として1平方フィート当り56ポンド(約273kg/m²)を考え、管状の場合はそれを50%に引き下げられることがわかった。それで主要圧縮材に、力学的に最も合理的で最小の材料で最大の効果も得られる管状にしたのである。今日では合理的な風圧として、1平方フィート当り約34ポンド(166kg/m²)を採用している。

(e) ティ橋の轍を踏まないための 人間デモンストレーション

スコットランドの東海岸には2つの入江があり、ひとつはティ橋が架かったティの入江で、もうひとつはフォースの入江である。約1kmに及ぶ幅員をもつこの入江にフォース橋が架けられることになった。入江の中央部に岩礁があり、ファウラーとベーカーは論議の末、ゲルバー式の構法をとった二重ワーレン型トラス橋に決定した。この入江の両岸と中央の岩礁に3基の高さ105mの大鋼塔を築く。この高塔を橋の方向に並んだ三人の人間にたとえるならば、おのおのの人間が両腕を差し出すのである。腕の長さは207m、両端は両岸の陸地上に設けた橋脚の上におくことが可能でも両岸と島との間は500mに余るから海上の部分では、お互いに腕が届かない。その間には約100mの空間が残った。そのところにゲルバー構造を用い、両突桁の間に支間が107mのトラスを吊り架けるのである。この工事が成功するとフォース橋の海を渡る部分の橋脚間の支間が両径間とも521m、全長はこれに接続する小橋梁をあわせて2.5kmとなる。その当時、ブルックリン橋(1869~83)の最大径間が486mであったから、これをしのぎ世界に冠絶する大工事であったことがわかる。工事に先だつて橋の人間デモンストレーション(写真-3)を一般に公開し、1883年に起工された。



フォース橋の人間モデル (写真-3)



フォース橋 (1883-1890) (写真-4)

(f) フォース橋の工事を 監督していた日本人



渡邊嘉一 (写真-5)
(石川島播磨重工業提供)

外国の文献の中には、中央の人物(写真-3)がベーカーとあるものもあるが、ていねいに調べてみると日本人であることがわかった。正しい紹介を日本でしたのは、筆者がはじめてであると思う。その人の名は渡邊嘉一(1856~1932 写真-5)である。彼は工部大学校を卒業し鉄道局に入り、その後イギリスに渡り、グラスゴー大学を卒業しファウラーとベーカー工務所の技術見習生となり、次いで技師になっている。日本に帰り多くの会社の役員についているが、官尊民卑のため近代日本土木史の中で埋もれた人のひとりであると感じる。

(g) おわりに

今回とりあげたフォース橋は10年来、調べてきたことである。とくに日本人が工事に参加していたことがわかりより身近に感じてきた。授業の中に力学史、土木史を取り入れる工夫を追究してきた。史学は学問の基礎でありながら十分に検討されてきていない。この機会に地道な研究をしていきたいと思っている。関係諸氏の忌憚のないご批判をしていただければ幸甚である。

主な参考文献 Neil Upton: An Illustrated History of Civil Engineering. William Heinemann Ltd., 1975

三浦基弘: 力学よもやま話(61)~(62). 技術教室 1980年7.8月号 民衆社