

連続桁橋の脚柱

— 車両衝突と地盤地下対策の一例 —

成 瀬 輝 男*

まえがき

橋梁形式の選定にあたってドイツでは連続構造を採用する率が非常に多い。筆者も西ドイツ Dörnen 橋梁製作所に在勤中多くの連続桁の設計を行なったが、そのうちのある鉄道橋につき、つぎの二点に焦点をしばって紹介してみたい。

① 連続桁架設地点に地盤沈下が予期される場合、どのような対策が講じられているか。

② 桁下を道路が走っている場合、万一考えられる車両の脚柱への衝突事故に対してどのような考慮がはらわれているか。

これらの問題につきドイツ設計示方書を引用しながら記すことにする。

1. 概 要

本橋は図-1にみるような鉄道橋である。架設地点はルール地帯のアマリア炭坑の真上に位置し、近い将来に地盤沈下が必至のところである。また本橋の下はルール高速道路が走り、橋桁の中間支点である脚柱は交通車両の不時の衝突事故に対して、しかるべき考慮がはらわれなければならない。

2. 地盤沈下の影響とその対策

地盤沈下の影響に対するドイツの設計規定は鉄道橋の場合と道路橋の場合と2つにわけて示されているが、この両者はほぼ同様である。このうち鉄道橋に対する規定を要約してみよう。

支持条件の変化による影響は死荷重と同様に扱わ

ねばならない。ただし、この影響を加味して応力計算を行なう場合には通常の許容応力を3%まで超過してもさしつかえない(DV 804 19条の2)。

本橋の設計にあたって、発注当局から地盤沈下による主桁の縦断方向の限度として $R=5000\text{m}$ があたえられた。この曲率は列車の安全走行を基礎として定められたものであり、この条件から各支点の沈下量を求めると図-2のようになる。

図-1に示したように、本橋の中間支点脚柱は1本柱とした。その理由はつぎの3つである。

① 地盤沈下が予想量まで達した場合、中間支承を扛上または扛下して主桁をもとの形にもどす必要がある。その際、脚柱が1本であれば作業が容易であり、かつ応力的に明確な施工ができる。

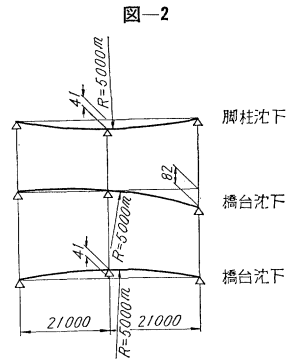
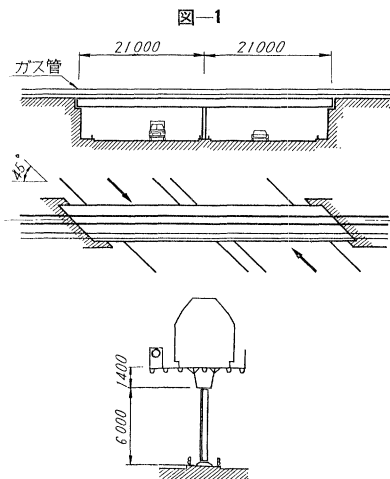
② 斜に支承されていることによって生ずるねじりモーメントをできるだけ解放する。

③ 1本脚の脚柱は軽快な外観を与える。

図-3に地盤沈下によって生じる曲げモーメントの大きさを示した。全曲げモーメントのうち、地盤沈下のもたらす影響がかなり大きな割合を占めていることがわかる。

中央支点の扛上または扛下はジャッキによって行なう。そのために準備した装置の概要を図-4に示した。図に見るように脚柱下端の鑄鋼シュー下面に厚さ20mmの鋼板3枚をしいた。中央支点が沈下したときはこの枚数をさらに増し、橋台が沈下したときはこの枚数を減じて主桁をもとの形状にもどすわけである。ジャッキをかませるためのはり はつねに脚柱についているのではなく、必要の際にボルトで組立てて取りつけるものである。

本橋の架設を終了した際に、試験的にこの組立はりを取りつけ200tジャッキ2台を使って桁を61mm扛上してみた。このとき扛上に必要な力はジャッキ1台あたり75tであり計算値と合致した。



* 正員 松尾橋梁KK東京支店設計部

図-3

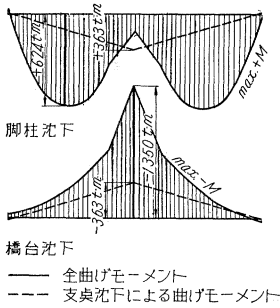
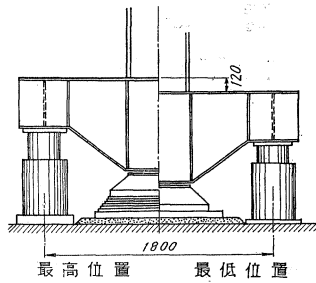


図-4



3. 自動車の衝突事故に対する考慮

どんな衝突事故に対しても絶対安全な脚柱の設計——たとえば時速 80 km で走行する 60 t トレーラーの正面衝突に対して安全な脚柱の設計——はマッシブなコンクリート橋脚の場合は別として、本例のような鋼製脚柱の場合まず不可能である。しかし、脚柱は不時の衝突荷重に対して相当程度の耐力を有する必要がある。ドイツの設計示方書はこの衝突荷重を静的に作用する換算荷重として与え、脚柱に横方向荷重耐力をもたせることを要求している。鉄道橋と道路橋で設計示方書に若干の違いはあるが、実質的な考え方は同様である。ここに鉄道橋の規定を引用してみよう。念のため申しおせば、この規定は鉄道橋の橋下を道路が走っている場合、その道路を走行する自動車がこの鉄道橋の脚柱に衝突する場合を扱っているものである。橋の下を鉄道が走っている場合、走行列車が脱線して、脚柱に衝突することも起こりうるが、このような荷重に対して脚柱はいずれにしても抵抗できない。したがって、このような場合には脚柱はなんら横荷重を考慮することなく純耐圧部材として計算される。

道路が橋の下を通っているときは、その支柱またはラーメン脚柱に対して路面上 1.2 m の高さには、柱断面の XY 2 方向に換算荷重 100 t を加えて強度を照査しなければならない。ただし、脚柱が自動車の衝突荷重に対して安全な位置にある場合、または衝突の危険に対して特別の防護がなされている場合はこの限りでない。しかし縁石の類は特別の防護とはみなされない。この換算荷重の影響は脚柱・その上下のヒンジ・シュー・接合部・橋体・橋台のシュー・橋台およびその基礎にまでおよぼして考慮すべきである。また、この換算荷重の影響は風荷重を除くすべての主・従荷重とともに合算しなければならない。これらの合計応力は応力照査の際には塑性限界値まで、座屈照査の際には主荷重に対する許容圧縮応力の 1.5 倍までとることができる。この双方はつねに照査しなければならない (DV 804 17 条)。

以上の規定は 1951 年に公布されたものであり、その後内示によって幾分の変更があった。すなわち、現在では橋下をアウトバーンまたは国道が走る場合には上記の荷重は割増しされ、脚柱に対して道路と平行方向に 200 t、直角方向に 100 t の換算荷重をかけることが要求されている。本橋の場合も橋下を通る道路が国道であるので、この割増し荷重によって設計することを指示された。本橋の脚柱設計の要点を以下記述する。

まず脚柱は局部的な破壊に対して安全でなければならない。柱の内部にコンクリートを充填するのも一方法であるが、本橋の場合は路面上 1.2 m 付近に 2 枚の強固な隔板を入れることによって補強した。

図-5

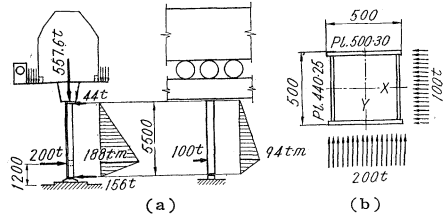


図-5 に脚柱の荷重状態および断面を示した。鋼材は St 52 である。二方向の荷重を示したがこれらは同時にかかるのではなく、それぞれの荷重状態で応力を照査し影響の大きな方で断面がきまるわけである。脚柱断面がほぼ正方形であることから、この場合荷重状態 (a) が支配的である。(a) の場合について応力の合算を記してみる。まず柱に実際に生ずる応力は、

$$\sigma_x = \frac{P}{A} + \frac{M_x}{W_x} = 1072 + 2330 = 3402 \text{ kg/cm}^2 < 3600$$

この許容応力は 3600 kg/cm² は St 52 の塑性限界値である。つぎに座屈に対する応力照査は DIN 4114 Bl. 2 10,02 によって

$$\sigma_x = \alpha_x \cdot \frac{P}{A} + 0.9 \cdot \frac{M_x}{W_x} = 1.07 \cdot 1072 + 0.9 \cdot 2330 = 3247 \text{ kg/cm}^2 \sim 3150$$

この許容応力 3150 kg/cm² は St 52 の主荷重に対する許容応力 2100 kg/cm² の 1.5 倍である。このように脚柱断面は許容応力の大きな割増しにもかかわらず衝突荷重を加味した場合にきまった。

脚柱に作用する衝突荷重は脚柱上下端ヒンジに水平力を与える。このうち下端ヒンジに生ずる水平力は量的にも大きいので、この部分の設計について以下述べる。ここに荷重状態として 図-5 (a) を扱う。

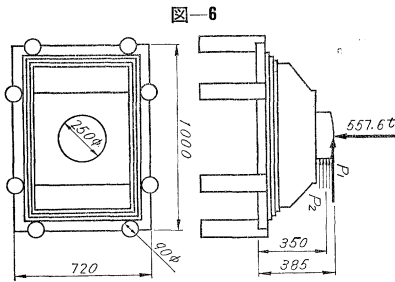
(1) 脚柱の軸力が最大の場合

死荷重、列車荷重、歩道の群衆荷重、橋台沈下の影響、温度の不等分布影響 (主桁の下縁の温度が上縁より 15°C 高い場合) を加算すると 557.6 t となり、これが

脚柱に作用する最大軸力である。この軸力と衝突荷重と同時にかけた場合にシューの底面積および断面は決定する。鋳鋼間の摩擦係数を0.2とすれば摩擦によって支圧面にかかる力は $P_1=557.6 \cdot 0.2=111.5 \text{ t}$ 側壁に作用する力は $P_2=156-111.5=44.5 \text{ t}$ この荷重状態によってシューの肉厚と底面の大きさを照査した。大きな許容応力の割増しにもかかわらずシューの寸法はすべてこの荷重状態によって決まった。

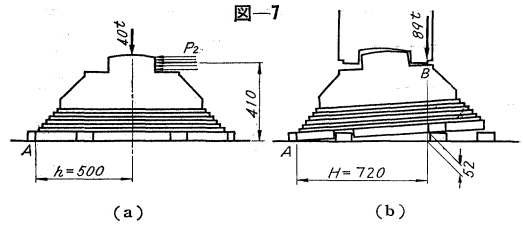
(2) 脚柱の軸力が最小の場合

死荷重, 脚柱沈下の影響, 温度の不等分布影響(主桁の上縁の温度が下縁より15°C高い場合)を合算すると脚柱の軸力は40tとなり, これが最小軸力である。この最小軸力をうける脚柱に衝突荷重が作用するときに, シューは滑動および転倒に対して安全でなければならない。まず滑動に対する安全の照査から始める。脚柱にこのような小さな軸力が作用する場合, シューは衝突荷重で滑動する危険がある。シュー底面とモルタル面との間に摩擦抵抗がほとんどないからである。したがって作用する横力はなんらかの方法でコンクリートの横方向支圧力により



抵抗できるようにする必要がある。シューの底面に十字型の突起を設けるのも一案であるが, 現場施工の際この突起の周囲にモルタルが十分まわりこまないおそれがあるので, ドイツでは現在この方法は用いられていない。このような場合に一般に用いられるのは, 図-6のようにシューの周囲に太い丸鋼を埋込む方法である。これは引張力に抵抗するアンカーボルトではなく, 横力のみ抵抗するいわばせん断棒というべきものである。せん断力のみを考えればこの丸鋼の径は特に大きい必要はないが, 同時に生じる曲げ力に対処してφ90のものを使用した。つぎにシューは転倒に対して安全でなければならない。大きな横力をうけてシューの一端が浮き上るのであれば, どれだけ浮き上がるかの限度を明らかにする必要がある。シューの高さが高いほどシューは転倒に対して危険である。そこで計算は高さ調節用鋼板6枚をそう入した状態について行なった。また脚柱の軸力が小さいので近似的に $P_1=0, P_2=156 \text{ t}$ と仮定した。

図-7のA端を転倒軸として考えると転倒モーメントは $M=156 \cdot 41=6400 \text{ t} \cdot \text{cm}$ 転倒をおさえる力はモーメントアーム $h=50 \text{ cm}$ として $R=6400/50=128 \text{ t}$

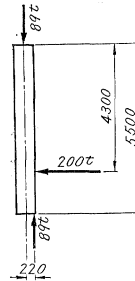


いま脚柱の軸力は40tであるから, 脚柱は下から128-40=88tの力によって突き上げられることになる。この88tの突き上げ力が主桁に作用すると, 主桁は上方へ94mmたわむ。したがってシューは図-7(a)の位置に静止せず, 図-7(b)のように片側が浮き上がる。この状態を原寸図によって確かめると脚柱下端とシューはB端で接触する。B端に作用する力は

図-8

B端で接触する。B端に作用する力は

$$R=6400/72=89 \text{ t}$$



脚柱を下から突き上げる力は89-40=49tとなり, これにより主桁は上方へ52mmたわむ。この際の脚柱の荷重状態は図-8のようになる。すなわち, 脚柱は $P=89 \text{ t}$ の軸圧と端モーメント $M'=89 \cdot 22=1960 \text{ t} \cdot \text{cm}$ をうける。脚柱に生ずる最大圧縮応力は

$$\sigma = \frac{P}{A} + \frac{M}{W} + \frac{M'}{W} \cdot \frac{4.3}{5.5}$$

$$= 170 + 2330 + 200 = 2700 \text{ kg/cm}^2 < 3600$$

あとがき

日本では地盤沈下の予想される場所に連続桁をかけることはまずないが, ドイツでは悪地盤の上に多くの連続桁がかけられている。地盤沈下の影響によって桁断面は大きくなり連続構造本来の経済性が失なわれているにもかかわらず, 好んで連続桁を施工する理由としてつぎのことがあげられよう。極限設計的にみて結局強い構造であること, 外観が軽快であること, 伸縮継手の数をへらし橋梁の使用性能をあげられること, などである。もちろんその反面, 架設してのちの維持の労はふえる。維持の労を覚悟で連続桁をかけるか, それをさけて外的静定の形式をとるかはその結局考え方の問題であろうが, 連続構造に対してこのように柔軟性のある考え方をしている点は興味がある。

脚柱に対する衝突荷重としてはかなり大きな量を想定している。本文に記したように, いかなる衝突事故に対しても絶対安全な脚柱の設計はできがたいが, この程度の荷重を想定しておけば普通の場合まず安全であるといえる。車両の衝突によって脚柱が多少の局部的な損傷をうけることはやむをえないとしても, 橋桁全体を破壊から守るには十分であろう。日本でも最近, この種の衝突荷重を設計示方書に織りこむべく検討中, ときているが, この小文ががなんらかの参考になれば幸いである。

(原稿受付: 1962.6.15)