

お話：道路と橋の技術史

2017 年 5 月

0. まえがき

橋は、道路・鉄道・水路などの通路の一部です。この報文は、道路の利用の方に焦点を当てて、道路橋がどのように計画され設計されるようになったかを、技術史の見方で概説します。橋は、有史以前から架設の歴史があります。鉄道を利用するようになったのは近代からであって、日本では横浜港の開港に始まる、僅か170年間です。鉄道は、線路を人が直接歩く、また自動車の私的な乗り入れも禁止されている通路です。身近な生活環境からみれば、地域の景観要素として親しまれても、生活環境からは、心情的に距離があります。河川などを一跨ぎする橋の、長さの方（支間）の設計は、力学原理を応用します。幅方向は、人が渡ることに基本的な機能を持たせます。近代そして現代になって、道路通行の主役が、馬車、路面電車、さらに自動車のように変化してきましたので、道路の幾何学的な構成の考え方も変化してきました。橋は、道路の機能に合わせる事が要求されます。したがって、この報文のはじめは、道路の構成がどのように決まり、また、変わってきたかの説明に当てます。これを受けて、橋の方の幾何学的構成が、どのように変わってきたかの説明を後半に繋ぎます。

島田 静雄

目 次

0. まえがき	5. 現代の道路事情
1. 橋の技術史を三期に分ける	5.1 神風トラックの専横時代
1.1 橋は水環境に架設される	5.2 車線数を増やす対策
1.2 鋼とセメントを使いはじめた近代	5.3 高速道路時代の始まり
1.3 道路を使う陸上輸送の課題	5.4 維持管理システム
2. 道路線形の設計	6. 通路幅の決まり方
2.1 坂道に階段を使わない設計へ	6.1 すれ違いができる道路幅
2.2 曲がりを少なくしたい設計	6.2 オーバーハングと内輪差
2.3 道路幅に使う長さの単位	6.3 農家向けの車種がある
2.4 歩車道の区別をしなかった	7. 歩道橋と横断歩道橋
2.5 開化絵に描かれた嘘	7.1 歩道橋の併設架橋が増えたこと
3. 道路と橋との繋ぎ	7.2 歩道専用橋の問題点
3.1 高欄と親柱	7.3 横断歩道橋が必要になったこと
3.2 高欄を持つ板橋	8. 基礎の重要性
3.3 高欄のない土橋	8.1 地盤の締め固めの技術
4. 近代の橋事情	8.2 永久橋への願望
4.1 横浜から鉄橋時代が始まった	8.3 路盤と路床
4.2 上路のアーチ橋の建設が好まれた	9. あとがき

用語索引

索引の参照番号は、章・節 です
(*)付き番号は参考文献の WEB 情報です

ア～オ		サ～ソ		フィート	
アーチ橋	1.1	産業革命	1.2	フラットアクセス	7.3
板橋	3.2	尺	2.3	藤井資料(*1)	2.3
永久橋	8.2	縦断勾配	2.2	幅員	2.2
江戸時代	1.1	人力車	1.3	物流	5.1
オーバーハング	6.2	水運	1.3	文明開化	1.2
横断橋	7.3	線形	2.2	ホイールベース	6.2
横断歩道橋	7.3			ポニートラス	4.1
親柱	3.1			歩道添加	7.1
カ～コ		タ～ト		マ～モ	
回転半径	6.2	耐震設計	4.2	マカダム舗装	8.3
海運	1.3	大八車	1.3	万世橋	4.2
拡幅	7.1	大八車	3.2	メートル法	2.3
関東大震災	4.2	対面通行	5.1	名神高速道路	5.3
神風トラック	5.1	坪	2.3	明治維新	1.2
牛車	1.3	鉄道馬車	1.2		
近代	1.2	土橋	3.2	ヤ～ヨ	
行者橋	7.2	土木遺産	4.1	ヤード	2.3
クロソイド	5.3	東名高速道路	5.3	よいとまけ	8.1
空気ケーソン	8.1			横浜開港	1.2
鍔橋(くろがね橋)	4.1	ナ～ノ		吉田橋	4.1
間(けん)	2.3	内輪差	6.2		
軽車両	6.1	日米和親条約	1.2	ラ～ロ	
現代	1.3	日本橋	3.1	栗林公園迎春橋	3.1
皇居石橋	4.2	日本橋	3.2	陸運	1.3
高速道路	2.2	日本橋	4.2	ロードローラー	8.3
高度経済成長	5.3	ハ～ホ		ロンドン大橋	2.5
高欄	3.1	橋本勘五郎	4.2		
		馬車	1.3		
		敗戦	1.2		
		聖橋	4.2		

参照できるリンク情報

(*1) PDF 版; 橋の情報と資料、中日本建設コンサルタント株式会社、技術情報
WEB サイトは、

<http://www.nakanihon.co.jp/gijyutsu/Shimada/shimadatop.html>

1. 橋の技術史を三期に分ける

1.1 橋は水環境に架設される

日本は、欧米や中国などの大陸国家と比べると、年間の雨量(降水量)が約3倍も多い国です。日本は、島国であって起伏も多く、中小さまざまな河川が流れ、平野部は、殆どが河川の氾濫域です。人の生活環境は、良質の飲み水が得られる場所が選ばれます。その場所は、地表を流れる河川や、地下を流れる伏流水沿いです。しかし、洪水を受け易い場所ですので、その災害を避けるため、やや高めの場所に建物や道路が建設されてきました。昔からある古い街道沿いの町並みは、この条件を満たしていることを理解しておく必要があります。社会生活の環境には、道路の整備が重要です。日本では、地形の起伏の多さと、稲作用水田などを含めた水環境が道路計画に大きな障害になっていて、そこに橋を架けたい要望がでできます。橋の建設は、地域のインフラストラクチャの充実にとって大きな課題です。これが、地域固有の歴史の一部を刻みます。日本は、そこそこの木材資源に恵まれていましたので、江戸時代までは、殆どの橋は木橋でした。橋の建設は、大工さんと鍛冶屋さんを中心とした、地域の技術集団が当たりました。水環境に架けられる木橋は、腐食が早く、橋脚などを含めた全体は、平均して20年程度の寿命です。石の桁橋は長い寿命が期待できますが、短い支間にしか利用できず、人馬や車も通れる公共的な通路には向きません。欧米や中国に古くから見られている切石積みのアーチ橋は、江戸時代末期、九州地方に多く建設されたのですが、これは、公共性の立場から言えば例外です。その理由は、軍事のときの攻守を考えたこと、特殊な経験技術を伝承する閉鎖的な集団によって架設されたこと、当時の肥後(熊本県)、薩摩(鹿児島県)の藩制が他県への技術流出を厳しく制限していた、などです。

1.2 鋼とセメントを使いはじめた近代

道路と橋の技術史を説明するとき、日本では、江戸時代末期までの長い年代を第一期とします。その理由は、橋を建設する材料が、木材と石材とに限られていた年代だからです。第二期は、欧米では産業革命によって、当時としては新素材である鉄鋼とセメントとが大量に、また安価に供給できるようになった19世紀始め頃からです。日本は、幕府が鎖国政策をとっていたので、近代化に努力した年代は、欧米に約50年遅れて、文明開化から日本の敗戦(1945)までの90年間とします。歴史の時代区分では近代です。文明開化は、ペリーの来航の翌年、1854年(安政1年)、日米和親条約が結ばれて、幕府の鎖国政策が終わった年から始まった、と考えることができます。横浜開港は1859年(安政6年)、明治維新は1867年です。明治新政府は、先行していた欧米の産業革命による近代化に学んで、性急に日本の近代化を進める政策をとりました。その基点は横浜でした。明治2年には、横浜新橋間の鉄道馬車の営業開始もあって、明治10年頃には、最先端の賑わいは東京に移りました。文明開化の年代は、明治維新を挟んだ、前後合わせて約20年間の短い年月ですが、革命的な出来事の連続でした。この時代、街の景観が劇的に変化していくことが浮世絵に描かれています。文明開化の象徴的な事物が日本全国を結ぶ鉄道網の建設でした。ただし、鉄道は人馬が直接利用できない通路ですが、人の遠距離旅行と、大量の物資の高速輸送とを実現できる利点が大きいのです。

1.3 道路を使う陸上輸送の課題

第三期は、日本の敗戦以降です。歴史区分は現代です。平成29年(2017)で、70年間になります。明治以降の近代と現代と、合わせると150年です。長い年月と思うでしょうが、私ごとで言うと、身近な三世代間の事象です。父方の祖父(1859-1916)、は、文明開化と明治時代をまるまる過ごし、父(1901-1995)は20世紀を通し、そして筆者(1931-)は現代を過ごしています。祖父の日記や写真が部分的に残っていて、文明開化を経験し、肌で感じたことを日誌に記録しています。第三期の技術課題は、結果的に言えば、自動車の高度な利用を目標にした道路の近代化です。江戸時代末期までは、重量物の長距離大量輸送には、海運と、河川や運河を使う水運でした。この事情は、欧米や中国でも同じであって、多くの運河が見られます。車に荷物を載せ、道路を使って長距離輸送をする陸運には多くの困難があったからです。不思議に思うでしょうが、日本での馬車の利用は、欧米文化の流入が始まった文明開化以降でした。牛を力仕事に使うのは主に農作業用でした。牛車を乗用に使うことも日本では一般的ではありませんでした。平安時代の京都では、高貴な人の乗り物に、二輪の牛車を使いました。二輪の四輪車であれば、かなりの重量物を輸送できるのですが、舗装していない道路では車輪がめり込みますし、通路の角を無理なく曲がれるような機構に製作するのが難しかったからです。文明開化時代の鉄道馬車には4輪車構造を輸入しました。車輪が地面にめり込むことを防ぐ方法としてレールを敷いた専用軌道を馬で引く使い方をしました。人を載せて人が引っ張る人力車は、小回りの効く2輪車です。その発明は明治2年です。庶民が利用した、荷物を運ぶ大八車(だいはちぐるま)は、二三人で引く使い方をします。これも2輪が基本です。4輪にすれば、荷物を多く載せられますが、坂を上り下りすることに労力が要ること、荷台を長くすると、狭い路地では小回りが効かない不便があつて、普及しませんでした。

2. 道路線形の設計

2.1 坂道に階段を使わない設計へ

江戸時代まで、人馬の通行を目的とした道路の建設は、自然の地形に逆らわないように計画していました。これは日本人の宗教観とも関係があつて、自然を畏怖すると同時に、自然と共存することを願うアニミズムの考え方です。旧東海道のような幹線道路は、河川を渡る橋の建設に多くの問題がありました。もう一つの課題は、坂道が思った以上に多いことです。馬が通れる程度の緩やかな段差を持たせた坂道は、普通に見られました。箱根峠は、最大の難所でした。平坦な道路で、牛馬に引かせる車が使えらる場合であっても、途中に一箇所でも段差・階段・きつい坂があると、重量物の輸送ができません。現代になって、自動車の利用が普及してきたことに伴って、段差のある生活道路は、車を効率的に利用できませんので、多くの悲喜劇を生むようになりました。身近の生活空間では、車椅子やベビーカーの利用を考えたフラットアクセスの設計が常識になってきました。建設機械が便利で強力になりましたので、自然地形を人工的に造成し直すことが簡単にできるようになりました。これは一面では自然破壊ですので、別の形の自然災害を誘発する危険も増加しています。

2.2 曲がりを少なくしたい設計

道路の幾何学的な形状の設計基本は、縦断勾配を緩やかにすることに加えて、平面図形的には、適度な幅員と線形の提案です。後者は、さらに二つの場合を考えます。第一は、道路の交差点で或る角度に曲がりたいたいとき、第二は、自動車が安全に高速走行ができるように、大きな円を描くような曲線形の提案です。高速道路は真っ直ぐな直線道路にするのが理想ですが、日本の地形では、どうしてもカーブが多くなります。江戸時代までの日本の都市、とりわけ、城と城下町は、攻守を考えた都市計画を設計しました。道路幅も狭く、曲がり角や坂道を多くし、意図的に迷路を構成することもしました。広く、平坦で、真っ直ぐな道路は、大陸国家では普通に見られます。奈良と京都の都市計画は、大陸国家である中国に学んだこともあつて、広い道路が方眼状に引かれています。札幌も部分的に方眼状の道路網ですが、こちらはアメリカに学びました。パリ中心部は、放射状に伸ばしています。見通しの良い広い道路は、広場に設計することがあります。そこに大砲を並べ、群集への威圧を目的としたと言われています。因みに、大陸国家は、都市全体を城壁で囲う防衛方法を考えました。

2.3 道路幅に使う長さの単位

日本の長さの単位は、古くは尺(約 30cm)を基準にしていました。国際標準のメートル法を採用することは、明治時代(1891)に決まっていました。しかし、メートル法に完全に移行するまでには、多くの抵抗がありました。法律の裏づけのもとに完全実施されるようになったのは、昭和 42 年(1966)、100 年以上もかかっています。そのため、例えば、土地価格を言うとき、坪(6尺×6尺)単位の面積をメートル単位に換算して、「3.3 平方メートル当たり幾ら」のように言う習慣が依然として続いています。アメリカは、現在でもメートル法を採用していない唯一の国と言えます。日本の近代化の過程では、アメリカ技術に多くを学んだのですが、1フィートが1尺と殆んど同寸法ですので、英語が分からない職人さんでも、アメリカ版の図面を素直に理解できました。尺単位の応用単位の一つが1間(けん)=6尺です。アメリカではヤード単位(=3フィート)もよく使われていて、ゴルフ場の距離を言うときの単位として馴染みです。さて、道路ですが、日本の道路幅は間単位で設計することが普通でした。藤井資料(*1)で調べると、橋の幅員の数値に、1間=1.8m の整数倍が多く見られます。明治時代まで、主要な街道の標準的な幅員は3~4間でした。藤井資料に幅員 5.4m と記されているのは、元が3間幅であることの略数と見てよいでしょう。これを受けて、昭和20年代の国道の標準的な2車線道路は、幅員を 5.5m に規定されています。

2.4 歩車道の区別をしなかった

前節で説明した3間幅の道路は、設計1車線幅を 2.75m とした往復2車線分と当てました。2m 幅の大型トラックやバスが安全にすれ違える幅を考えた設計仕様(示方書)です。この積算には中央分離帯と歩道分を考えていません。この仕様を利用していた昭和20年代までは、未だ自動車の台数も多くなかったこともあつて、橋に載せる荷重は、道路幅に並列2台のトラック、残りに人の集合を考えた、混合交通を想定していました。トラック同士のすれ違いや追い越しが必要なときにだけ、二台並列状態ができると考えました。ところが、昭和 25 年頃から、物流にトラック便が多用されるようになって、国道に車の渋滞が日常的に発生するようになりました。昼間は地域の生活道路の性格を持つ車であふれ、夜間は長距離のトラック便の隊列ができました。往復2車線の道路では、どちらか一方の車線が渋滞すると、空いているように見える反対側の車線にも渋滞の影響が出ます。これは、曲がり角のある道路で特に多く発生します。その原因は、曲がり角では長さの長いトラックが、実質的に2車線幅を占めて回ることになり、結果的に1台ごとの交互交通になるからです。

2.5 開化絵に描かれた嘘

ここで、興味深い開化絵を2点紹介します。図1と図2は、どちらもロンドン大橋(New-London 橋; 1831: 藤井資料番号 FUJII01734)を描いた錦絵です。版画家の広重(Ⅱ代)と芳虎は現地に旅行したことがありませんので、輸入された何かの挿絵を元に想像を加えて作図したようです。大衆受け、つまり現代風に言えばジャーナリストチックな報道を目的としていますので、橋の構造が非現実的です。図1は、三河の八つ橋なみに橋の平面線形を曲げています。馬車も通っています。図2では主構造がアーチになっていません。橋の入り口に階段を加えてありますので、馬車の乗り入れはできないはずですが、橋の袂には馬車だけでなく、牛車も描かれているのがお笑いです。歩車道の区別がないことも分かります。作画の年代は文明開化真っ盛りの期間です。庶民は、欧米文物の実物を直接眼にする機会が少なかったため、それに代えて、この錦絵などを、好奇心を満たす情報源にしていました。そのため、実際とはかけ離れた図でも、ムード(情緒)的に庶民に受け容れられました。このロンドン橋は、1967年まで利用され、解体して1971年アメリカ、アリゾナ州 Lake Havasu 市の観光資産として再建されています。したがって、現代でも渡米して実物を見る機会があります。



図1. 英吉利西龍道大港(イギリスロンドン)、広重(Ⅱ代) 文久2年6月(1862-6)、マズプロ美術館



図2. 英吉利蘭頓(イギリスロンドン)、芳虎 慶応2年3月(1866-3)、マズプロ美術館

3. 道路と橋との繋ぎ

3.1 高欄と親柱

橋は通路の一部です。管理の目的もありますので、「ここから橋ですよ」と、はっきり分かる構成です。江戸時代までの橋は、木橋が普通でした。太鼓橋の様な大きな縦断勾配を持たせた橋も架けました。現代は、自動車に乗って間接的に橋を渡ることも普通になりましたので、橋を渡っていることを実感する機会が減りました。しかし、**高欄**、**照明塔**、**親柱**などは、注目されるようにデザインされます。橋の入り口を明示する親柱は、高欄を延ばして橋台上に置くこともあります。歩道のない道路は、見かけの道路幅を橋の入り口で狭めているように錯覚する、また、実際に狭めていることもあります。そのため、自動車通行のとき、親柱や高欄に接触したり衝突したりする事故がよく起きました。

3.2 高欄を持つ板橋

日本の木橋は、床構造で分類すると、**板橋**と**土橋**の二種類です。板橋は、通路が板張りのままです。高欄は、腕の良い大工さんの参画がないと制作できません。板橋は、木の床板と地盤との境界がはっきりしています。図3は、香川県高松市の栗林公園にある迎春橋の絵葉書です。橋の入り口の高欄並びを道路地盤の方に伸ばし、さらに広げています。遠景に見える同形式の板橋でも分かるように、勾配のきつくない太鼓橋です。一方、**英泉**が描いた**日本橋**(図4)も同じような高欄並びを見ることができます。この図では大きな荷物を積んだ**大八車**を押している状態も描かれていることに注目して下さい。

3.3 高欄のない土橋

都市部を外れた場所に経済的に架けられる木橋の床部は、あまり加工をしない丸太を橋幅方向に渡し、路面の凹凸を均すために土を盛りました。橋の入り口の勾配変化も滑らかです(図5)。床面の両端に地覆を置きますが、高欄がないことが普通でしたので物騒な通路です。現代でも、私有地の農道などに見られます。



図 3. 高松市栗林公園迎春橋(絵葉書より)



図 4. 英泉の描いた日本橋(木曾街道六十九次)



図 5. 広重の描いた土橋(東海道五十三次、掛川)

4. 近代の橋事情

4.1 横浜から鉄橋時代が始まった

文明開化は横浜・長崎の開港を基点として、欧米文物の直接の流入と、その模倣とから始まりました。横浜港を支える都市計画が行われ、それまで新田開発がされていた土地に、木橋が架けられていました。これらは、馬車の利用に向いていませんので、程なく、すべてが馬車も通れる木橋に架け替えられました。**吉田橋**(1869)は、その前年に架けられた長崎の**鑓橋**(鉄橋・くろがね橋)に続いて、日本で2番目の鉄の橋です。場所的にも目立つ箇所にありましたので、幾つかの錦絵が残っています。図6は、橋の構造もまずまずの正確さで描かれています。重要な特徴は、馬車で通行できるように路面が平らであること、歩車道の区別がないこと、通路全体が青天井である**ポニー・トラス**形式であること、です。道路橋は、路面電車や自動車のような重量通行にも利用できて、幅員の広い構造が必要になる時代に移ります。ポニー・トラス形式は、一時期、多く建設されましたが、安定性に問題がありますので、明治の末期には殆ど架け替えられ、設計されなくなりました。そのため、この形式が実物として残っている橋は、土木遺産として扱われることが世界的に見られています。



図6. 横浜吉田橋の馬車道の真景、広重(Ⅲ代)、明治4年(1871-11)、マズプロ美術館

4.2 上路のアーチ橋の建設が好まれた

欧米では、アーチ橋が多く架けられていて、それが優美な都市景観を構成していることが知られるようになりました。日本の明治新政府は薩摩藩の人材が多かったこともあって、九州の石造アーチ建設で評価の高かった橋本勘五郎を東京に招いて、神田**万世橋**(1873)をはじめ、幾つかの石造アーチを架けさせました。しかし、力学原理を使わない経験技術に頼る石積みアーチ橋は、既に時代遅れになっていて、**皇居正門の石橋**(明治20年:1888)、さらにアーチに架け替えられた**日本橋**(明治44年:1912)は、コンクリートを構造材料としました。

関東大震災(大正12年:1923)は、欧風のレンガ積み構造物に大きな被害をもたらしました。建物だけでなく、橋梁も含めて、**耐震設計**が積極的に研究されるようになりました。その具体的な応用は、震災の約5年後に架けられた、隅田川の清洲橋、永代橋、そして、コンクリートアーチ橋の御茶ノ水の**聖橋**などです。

1920年代の後半から1945年までは、世界中が戦争に巻き込まれた不幸な時代です。とりわけ、1931年からは、日本も積極的に侵略戦争に加担しましたので、道路や橋梁の改良に目立った技術開発が行われませんでした。



図7. 御茶ノ水の聖橋(1927架橋)

5. 現代の道路事情

5.1 神風トラックの専横時代

日本の敗戦(昭和20年:1945)後の被占領時代から、サンフランシスコ平和条約(1951)で主権を回復するまでの期間は、戦後の混乱期でした。米軍主体の占領軍(駐留軍と言いました)と、その家族が利用する、主としてアメリカ仕様の大型自動車の通行は、日本の道路事情に苦勞していました。日本政府は日本全土を繋ぐ幹線道路の整備と、戦災を受けた都市の再開発とを、戦後の最優先の公共工事としました。昭和30年頃には、食料事情などの戦後の混乱が一応平常化し、それに続く約20年間は、**高度経済成長期**と言われました。それを支える**物流**の主役に、主要国道を往復する長距離トラック定期便が大活躍をしました。しかし、従来の2車線幅の道路では、第2.4節で触れたように、慢性的な渋滞が起こるようになりました。そこに、先を急ぐあまり、無理な追い越しや速度違反をするトラックが横行しました。これが、通称で言う**神風トラック**です。したがって、安全な通行ができるように、道路線形の改善と車線数の増加が要望されるようになりました。国道は、歴史が古い旧街道そのままか、部分的に改良する程度でした。街道沿いには、歩道を持つ商店街が多く見られました。しかし、そこを外れると、歩道のないことが多く、歩行者は自動車走行の邪魔にならないように、道路端の狭い路肩部を通路に利用しなければなりませんでした。「人は右、車は左」が推奨されました。これが人と車との**対面通行**です。しかし、ほんの5.5mの車道幅でも、自動車通行が増えたため、道路を横断することにも大きな危険を伴うようになり、自動車に人が巻き込まれる交通事故が、社会問題になるほど増加しました。

5.2 車線数を増やす対策

片側1車線、往復で2車線の道路では、追い越し自動車は、反対車線にはみ出ます。したがって、基幹道路は、片側2車線、全体で4車線を持たせる構造が最低標準になりました。車線数を増やしたい場合、土地に余裕がある場所は、2車線の道路を、中央分離帯を介して、並列に並べるようにして、往復4車線化を図ることができます。旧街道筋は、建物が立て込んでいて、道路幅を増やす余裕が得られないことがあります。そこで、その場所を迂回するように、**バイパス**道路を新しく建設することが各地で見られました。この新道路は、最初から4車線、またはそれ以上で建設され、旧道に代わる正規の路線扱いにした例が多く見られます。旧道は、大型トラックの進入を制限するなどをして、以前のように地域の生活環境を復活させることも、試みられています。新道は、旧道に比べると、歩行者の利用が少なく、自動車専用の性格を持ちます。建設費用を賄うために有料道路化も採用されました。高速道路の建設は、この考え方の延長です。

5.3 高速道路時代の始まり

名神高速道路は、ドイツのアウトバーンに多くを学びました。その着工は昭和32年(1957)、完成は昭和40年(1965)です。**東名高速**道路と通しての全通は、昭和44年(1969)、高度経済成長時代の象徴的な建設工事でした。高速道路は、自動車時代の幕開けでもありました。今では想像できないでしょうが、名神高速道路の建設に携わった当時の技術者の殆どは、運転免許を持っていませんでした。さらに、曲線を滑らかなハンドル操作で回れる道路線形に**クロソイド**曲線を採用する技術も学び、続く東名高速道路の線形設計に多用されました。道路を高速で走行しなければ納得できない走り易さの感覚は、名神と東名とは、違います。名神高速は、ドイツ流であって、直線区間が長く、走り易い線形であるとの感想を持つのに対して、東名高速は曲線が多いと感じるのです。高速道路は、自動車の設計にも多くの技術開発を必要としました。従来の自動車は、時速100km/hを越える高速走行ができませんでしたし、さらに、長時間走れる道路もありませんでした。名神高速道路では、これに対応できない自動車が、エンジントラブルで路肩に停車していることが多く見られました。

5.4 維持管理システム

橋梁も含め、道路全体は、日課のような維持管理の仕事が、なるべく必要でないようは設計を計画します。つまり、耐久性が重要です。不定期でも、やや規模が大きくなる管理業務の例には、植栽の管理と舗装の修理があります。これらは、あらかじめ、作業日程の予定を立てることができます。これに対して、橋の補修や架け替え、事故、自然災害などは、非日常的な事象ですし定型がありませんので、具体的な対応計画を立て難い面があります。これらの管理業務では、交通の流れを止めないようにすることが、最優先の課題です。道路は主通路と共に、非常時にバイパス機能を持たせた別道路を予定しておきます。物流に大きな障害がないように、高速道路でも、車線増だけでなく、並行利用ができるような別路線を計画することが要望されるようになっていきます。この考え方は、日本以外の国々では、表だって言うことはしませんが、軍事目的にあるのが常識です。橋は、軍事的に最も重要な構造物とされています。一方、日本は自然災害が多いので、災害時とその復旧活動のことを大義名分に置くようになりました。

6. 通路幅の決まり方

6.1 すれ違いができる道路幅

公共の道路(公道)は、一般の人が歩いて利用できることが基本的な機能です。農道や山道などは、一人分の幅として、最小、約75cm(2.5 尺)を考えます。マンション住宅内では、車椅子が通れる最小通路幅です。すれ違いができるようにするためには、途中に退避や待ち合わせの場が必要です。車椅子の対面通行ができるためには、余裕を見て、実用的には1間幅(1.8m)が必要です。車を利用する場合、昔の大八車の全幅は約1.1m、オート3輪車は1.2~1.3m 幅、軽4輪車は1.4~1.5m 幅です。これらは軽車両に分類されます。戸建の日本建築は、1間(1.8m)を間口や車庫の幅に当てることが多いので、人の乗り降りの余裕をみると、これよりも幅が広がる小型車以上は、使い勝手が悪くなります。軽車両のすれ違い通行ができる道路幅は、約2間(3.6m)です。この幅は、日本の住宅地や、ちょっとした路地の通路に利用されています。そうすると、車幅が2m 前後のアメリカの大型乗用車や、大型トラックのすれ違いができません。したがって、旧東海道などの公道は、最低基準として3間幅(約 5.4m)で計画されていました。

6.2 オーバーハングと内輪差

現代では、小回りの効く2輪の馬車・人力車・荷車を利用することは稀になりました。二輪車でも、角を曲がる時、車軸の位置から前後に伸びる車体の長さが長いと、角の曲りに苦労します。ここで、道路の交差点を4輪の自動車曲がるときの幾何を考えます。基本的な数値は、①道路幅、車体の②幅と③長さ、④ホイールベース(前後輪軸間距離)、その車体長さとの⑤相対的な位置関係が微妙にからみます。自動車側の仕様では、さらに、回転半径と内輪差が関係します。説明用の図として、4輪の軽自動車が角を左に回るときの状況を図8に示しました。左に角を曲がりたいときは、車の位置を内輪差分だけ右に寄せ、前輪の初期位置を角より手前に置くことで、後輪軸が最小の回転半径で回ることができます。トラックでは、後輪より後ろに車体長さが伸びていると、尻ふりによって、右側に車体のはみでるオーバーハングを考えます。同じ現象ですが、前輪部分の車体も、曲り先で右に寄ります。なお、図8は、約1間幅の農道の角を曲がる幅 1.3m の軽トラックです。カタログから採図しましたが、左回りの説明用に、左右反転して、左回りの図にしてあります。

角の曲りを容易にするには、角を隅切りするか丸めます。自動車側から言えば、1車線に当てる曲線部の道路幅は、直線部の道路幅よりも広い必要があります。直線道路の走行でも車線変更があります。また蛇行運転も起きます。道路の1車線の規格幅は、これらのことを含みにして実用値が決められています。そうであっても、道路側から言えば、回転半径の大きい、車体長さが大きい車は困ります。図8の道路でも、ホイールベースの長い軽乗用車の乗り入れは難しいでしょう。



図8. ホイールベースの短い軽トラック(カタログから)

6.3 農家向けの車種がある

日本は、都市化が進んだとは言え、田園地帯も多く、そこに農作業用の農道が巡らされています。農道は私道の性格が強いので、その幅は、1 間程度の場合も少なくありません。以前は小回りの効く小型三輪車、現代は軽トラックが多用されています。その軽トラックも、ホイールベース(前後輪軸間距離)違いで二種類あることを知らない人が多くいます。短い方は約 1.9m であって、農家向けと言われます。長い方は約 2.5m です。こちらは軽乗用車で採用されています。農家用の軽トラックは、悪路に強く、狭い農道の角を曲れる小回りの機能が必要です(図8)。狭い路地に入る配送用のトラックもホイールベースの短い軽トラックが利用されています。因みに、大型車のダンプカーは、悪路に強く、小回りが効くように、ホイールベースの短い車種です。

7. 歩道橋と横断歩道橋

7.1 歩道橋の併設架橋が増えたこと

ここまでの章は、橋の話に入るまでの序論です。車馬の通行が一般的でなかった時代、公共道路の延長としての橋は、歩車道の区別がありませんでした。つまり、橋はすべて歩道橋であると言えます。戦後、自動車時代が始まって、自動車の通行が増えましたので、歩行者の安全を確保する歩道部が必要になりました。この対応は、車道の一部に車線を描いて区別するか、路幅を増し、少し路面を高くした歩道を増設するかに対応が行われるようになりました。この工事には、二つの方法がとられました。第一は、既設の橋に添えて、力学的に独立した歩道橋を架設することです。トラス橋で、最初から主構の外側に横桁が張り出していなければ、桁形式の歩道橋を隣に架けます。第二は既設の橋の主桁と同寸法の桁を横に並べ、床組を連続させます。これは、上路形式の桁橋で採る普通の方法です。自動車の通行量が少ない道路で、車線数を増やさなくても済む場合は、車道幅員の片側だけに歩道部を設けることで済ますことをしました。これを歩道添加と言い 1964 年以降から見られるようになりました。第 5.2 節で触れましたが、2車線道路を、2倍の4車線に増やす拡幅工事を既設の橋に適用するときは、歩道部は合計4車線幅の両側に付きます。これは、上で説明した片側だけに歩道部を持つ2車線道路橋の形式で、新橋を建設することです。こちらは、単に拡幅としています。

7.2 歩道専用橋の問題点

歩道橋の特徴の一つは、幅員が狭いことです。京都市の通称で言う行者橋は、石の桁橋ですが、幅は70cm弱です。もちろんすれ違いはできません。公共に利用する歩道橋の幅員は、最小で 1.5m、余裕を持たせたとしても 3m 程度です。設計荷重も大きくなりませんので、鋼の桁橋形式が多く採用されています。力学計算も簡単で済みます。しかし、これが仇になって、予想もしなかった特異な事故やトラブルも起きました。一つは振動が大きく出易いことです。幅員と桁高とが支間に対して相対的に小さくなりますので、桁としての振れ剛性も低くなり、架設時に落橋事故になった例があります。歩道専用の長大吊橋は、観光資源としても山間部に架設されることが見られます。これは、左右のケーブルが振れ変形に対して復元機能を持つので一般の歩行者の安心感を助けています。しかし、横風を受けると上下左右、さらに振れ振動を起し易いことに注意が必要です。

7.3 横断歩道橋が必要になったこと

名神高速道路は、信号機の有る交差点がありませんので、横断橋を含め、多くの立体交差の計画が必要でした。一般道路の交差点に、信号機付きの平面的な横断歩道と共に、立体的な横断歩道橋を建設することが多く見られるようになりました。主な利用目的は学童の安全な通学路用です。昭和41年(1966)、愛知県猿投町で、ダンプカーが、通学中の児童の列に突っ込んで多くの死者をだした事故がきっかけになって、図8のような横断歩道橋の建設が、各地で見られるようになりました。図8の道路は2車線ですが、道路の車線数が増え

中央分離帯もあると、信号交差点以外に、道路の反対側に平面的に渡る手段がなくなります。そこで、4車線を渡る、長さの長い横断歩道橋が必要になります。単純に2倍長さの桁を渡すと、振動が大きくなります。それを防ぐため、中央分離帯の箇所に支柱を立て、力学的には連続桁構造が採用されます。この種の横断歩道橋は、階段付きの構造が普通ですので、年配者やベビーカーの利用ができるようにするためのフラットアクセスの設計が問題になります。

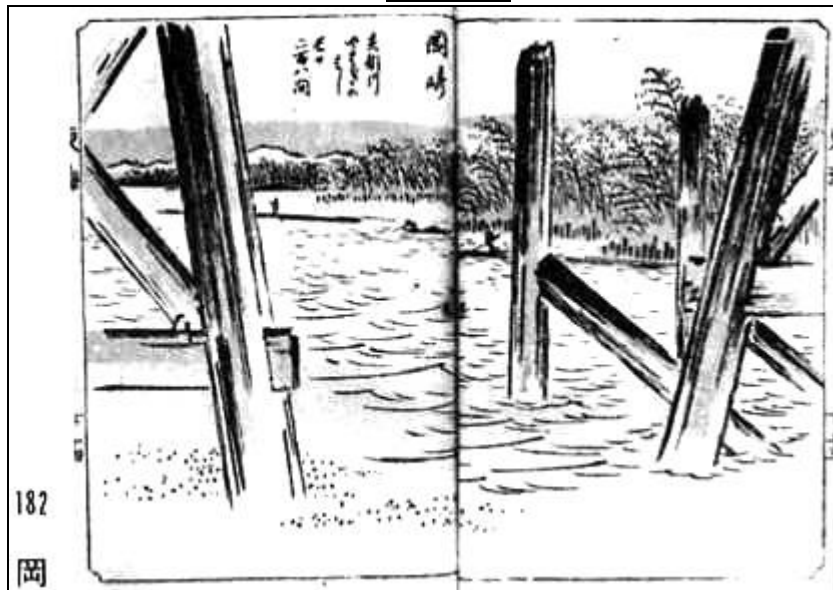


図9. 二車線道路に架けられている標準的な横断歩道橋(ウィキペディア)

8. 基礎の重要性

8.1 地盤の締め固めの技術

建築構造物は、普通、地表上だけの建造物です。軟らかな自然の地表面を、固い地盤と同等の強度を持たせるようにする古典的な方法に「よいとまけ」が普通に見られました。柱を立てる場所の作業用に三またを組み



そこに綱を通し、槌を上げ下げする滑車をつけて、大勢が一斉に綱を引いては落とすことで地盤の締め固めをしました。よいとまけは、そのときの掛け声からきた用語です。

一方、橋梁の基礎は、水面下になることが多いのが特別です。木橋の橋脚は、木の柱材を水面下の地盤に杭のように打ち込む工事をしました。洪水で橋が流されて、折れた橋脚が無残に取り残されている浮世絵があります。図10は、嘉永元年出版された東海道名所図会です。岡崎は矢矧川橋が有名ですが、広重が見たのは、洪水後の無残な橋脚の惨状だったのでしょうか。

図10 広重の狂歌絵本「東海道五十三次名所図会」岡崎

近代的な橋梁は、橋本体の重量と共に、通路を利用する車両の重量も大きくなってきましたので、橋脚・橋台を支える基礎構造の建設には、海外技術に多くを学ばなければなりません。有名な例は、潜函病で知られるようになった、ニューヨーク・ブルックリン吊橋の空気ケーソンの建設があります。基礎部分は、一般の人の目に触れることがなく、上部構造の架設のような華やかさの少ない、特殊な技術集団を育てる必要がありました。その多くが、現代の建設会社に成長しました。

8.2 永久橋への幻想

近代までは、木橋が多く、特別な基礎工事をしないまま、木造の橋脚や橋台を建設していました。水環境に曝されますので、木材部分は腐食も早く、洪水での流失もあって、木橋は平均すると20年程度の寿命しかありません。長い年月の利用ができることを願って、鋼とコンクリートとを材料とした橋が建設されると、木橋と比べて遥かに長い寿命が期待できます。そのことを表す橋名として、近代以降、千歳橋、千代橋、万世橋、万代橋、永代橋、永久橋などの命名が、全国的に多く見られます。紛らわしいのですが、永久橋は、木橋、鋼橋などと並んで、橋の種別を表す普通名詞としての使い方もしています。ところが、耐久性の面では、鋼材は腐食が問題になります。コンクリートは、人口石材としますが、自然石に比べると、格段に速く風化が進みます。どちらの場合も、日本の場合には降雨量が多いことが主原因です。鋼構造物は、ペンキ塗装が常識になっていますが、打ちっぱなしのコンクリートの表面を保護する方法については、あまり気に掛けようがありません。

8.3 路盤と路床

道路橋の床部分がコンクリート造であると、そこに接する道路側も、耐久性の高い舗装が必要です。日本では、文明開化以前には馬車の利用がありませんでしたので、舗装技術も未発達でした。箱根の旧東海道の石畳みが有名ですが、人馬の利用だけの通路です。馬車が高速で利用できる経済的舗装は、マカダム舗装（碎石舗装）からです。この構造は、上から舗装・路盤・路床の3層です。下地になる基礎の路床を台にして、粒径の種類を変えた碎石層を持たせた路盤を載せます。この二層の締め固めに、重量の大きなロードローラーが使われます。自動車の設計重量が大きくなかった時代、ロードローラーの重量を活荷重にしていました。自動車の高速走行には、耐久性のあるアスファルトで舗装されます。橋梁部との接続部分は、材料も構造も異なる床部分が接することになるため、管理上の問題が多い箇所です。鉄道橋の場合も、上からレールと枕木・碎石砂利を主体とした路盤・路床の3層構造を持たせています。碎石層は、振動の吸収に大きく貢献する部位です。そこが磨耗して目詰まりを起こし、さらに硬化まで進むと、振動が直接路床に伝わり、この部分の破壊に進むことがあります。道路・鉄道、共に基礎部分の力学的な研究には未だ多くの問題が残っています。

9. あとがき

現代と言う用語は、「現」の字を含みます。時間の流れから言えば、現は「今」進行している瞬間の意味を強く持っています。歴史区分で、便宜的に現代の事象と言いますが、時間軸で言えば既に過去の事象になっています。「今」の延長である未来のことは、何も予測ができません。しかし、これから何をすべきかの計画を立て、その実現を目標に努力することは価値があります。橋について焦点を絞ると、日本では木橋が多かったこともあって、近代から現代までの技術史は、新しい橋を建設することが主な話題でした。木橋は寿命が長くないので、上の第 8.2 節でも述べた永久橋に架け替えたい要望は、未来志向の一つです。しかし、ほったらかしでなく、適切な維持管理を計画していなければ、長く利用できないことには、あまり理解が得られていませんでした。これには、日本人の自然観と関係があります。自然は、多くの恵みをもたらしてくれます。しかし、自然は移ろうものですし、気まぐれな面、怖い面もあります。したがって、自然と共生することを考えないと、手ひどいしっぺ返しを受けます。これと正反対の考え方は、日本以外、とりわけ欧米にあって、「自然を征服する」との言い方が見られます。何かの自然災害に対して、科学技術を工夫すれば対処できる、と考える傾向もあります。地球の、何億年もの歴史からみれば、自然は、何が起こるか、全く予想のできない怖さがあります。先人が積み上げた経験的な知識といっても、たかだか数千年の歴史から得られたものです。

自然災害の怖さに比べると、人の集団の怖さも年々大きくなってきています。とりわけ、排他的な宗教観や、科学技術を手段として、確信犯的な殺戮と破壊が問題になっています。確信犯とは、自分に正義があると信じれば、殺戮と破壊をしても、正しい行動として賞賛されると思っていることを言います。道路と橋の計画では、生活環境を良くしたい希望があっても、その自然環境から無理と判断して、敢えて不便さを甘受することも必要です。生活環境、つまりインフラストラクチャの近代化は、道路網の整備が最初にあって、上下水道と電力網の整備が続きます。近代化以前、住居に不適当な場所、例えば高台で井戸が不便であっても、現代では上下水道の敷設を地域の自治体がサービスしますので、宅地造成が簡単にできるようになりました。このうち、自然災害を受ける恐れのある低地や傾斜地をハザード言うことがあって、近年になって、地域の自治体ではハザードマップを公開するようになりました。

橋は通行荷重を支えます。力学的には疲労の問題もあって、架け替えが必要になることもあります。自動車時代になって、まだ実用的にも十分に利用できる自動車でも、新車に取り替えることも常識になっています。これは、古い部品の供給をできなくしたことも原因ですが、結果的に世界中で資源の無駄使いをしています。鉄道では、明治時代、鋼の鉄道橋を輸入して架設してきた歴史があって、それをリサイクルして別の路線に再利用している例があります。これからの課題は、橋と道路とを含め、社会資本全体の維持管理を研究する時代に移行することが予測されます。