

地下水位の予報

“Prediction of Ground-Water Levels on Basis of Rainfall and Temperature Correlations”

By M.I. Rorabaugh

Trans. A.G.U., Vol.37, No.4, Aug. 1956

この論文はオハイオ河のルイスヴィル近辺の氷河堆積物中の地下水位の予報を扱ったものである。

この問題の解決には相関図を求めることより始められ、地下水位、貯溜量、揚水量、降雨、温度、地下水位減衰曲線の変化、オハイオ河よりの浸透等について考慮された。まず揚水や河よりの水の供給のない地域で降雨量並びに温度と地下水位の相関が求められた。これをさらに揚水のある区域に用いて、揚水量、貯溜量の変化、河川浸透水、河川水位との関係をみつけるための相関を考えた。このようにして作製された曲線を用いると揚水の増加がどのようなであつても9カ月前に地下水位の予報を行うことができる。ここでは揚水や河よりの水の供給がないと考えられる自然の状態にある区域についての予報についてのべる。

区域はルイスヴィルの南西約13kmの地域で断面は図-1に示す。堆積物の厚さは25~40mで比較的粘土やシルトの少い砂と砂利でおおわれている。

その上部は1.5~12mの厚さの細い砂、シルト、粘土でおおわれている。透水係数は揚水試験の結果によると40.7~61.1 m<sup>3</sup>/day/m<sup>2</sup>である。年平均降水量(80年間)は1090mmで年平均温度(80年間)は13.9°Cで平均降霜期間は10月下旬から4月上旬までである。月平均降水量、月平均温度およびルイスヴィル近傍のある地点の月平均水位は図-2のとおりである。平均水位

図-1 横断面図

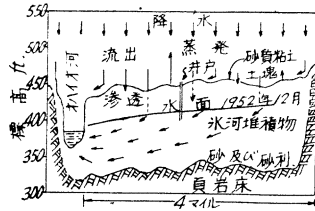


図-2 ルイスヴィルの月平均値

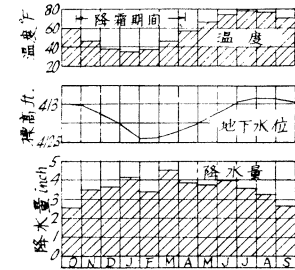
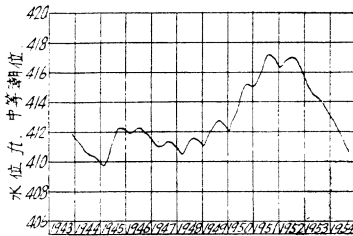


図-3 51-8-1 井水位図



のグラフは1月に低く7月に高い。9月から2月への水位の低下は地下水の流出が降雨よりの補給を上まわること示し、2月から7月へかけての上昇は補給が流れを上まわること示す。地下水の復元は図-3のハイドログラフが示すように季節的に起り1950~1951年のような豊水年には、地下水水面は61~92cm(2~3ft)上昇し、1953~1954年のような渇水年には1年に92cm(3ft)の降下を示している。

降水量と地下水の周期的な復元との間には明らかに相関関係がある。Thronthwaite (1948)の方法で蒸発量を計算し、降水量より差引いて求めた余剰水の累加百分率、サルト河のシェパードヴィルにおける月平均流出量の累加百分率、および地下水位の復元量の累加百分率を

図-4 余剰水、流出量、地下水復元量累加図

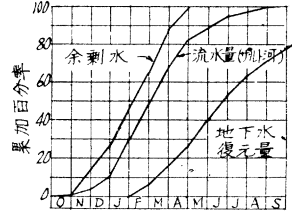
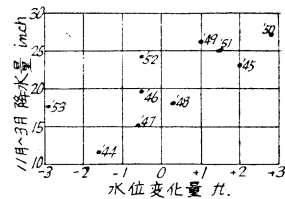


図-4に示す。サルト河の流域は河床が堅固な頁岩と石灰岩よりなり、貯溜係数は非常に小さく、従つてこの流域の流出量は蒸発量は蒸発と土壌湿度補給の損失を差引いた余剰水の季節的分布を与える

指数と考えられる。地下水の復元量は地下水位の観測値と減衰曲線とを用いて計算した。これによると余剰水は11月から3月にかけて比較的均一に分布し、このうち12月から3月まではサルト河の流出曲線とほぼ平行である。11月と12月の両曲線の開きは、成育期の終りころにほとんど潤湿した土壌湿度を充足するためにできたもので、充足が終るまでは地下水位は上昇しない。土壌は約10~13cmの貯溜能力をもつようである。地下水の上昇曲線のおくれは垂直方向の浸透には相当時間を要することを示す。3月末には年余剰水の88%が貯溜されているのに対し、地下水は17%復元されているにすぎない。これより予報に用いる指数をうる期間としては11月から4月までをとる。まず11月~4月の余剰水を用いて求めた相関では満足な結果が得られなかつた。従つてここに用いられた方法は地下水位の年変化、冬季温度および河川への水の損失と冬季降水量とを関連させたものである。図-5は11月~4月降水量と水位の年変化量との相関図である。図-3と図-5とを比較すると1952,1953年のような水位の高い年のデータ

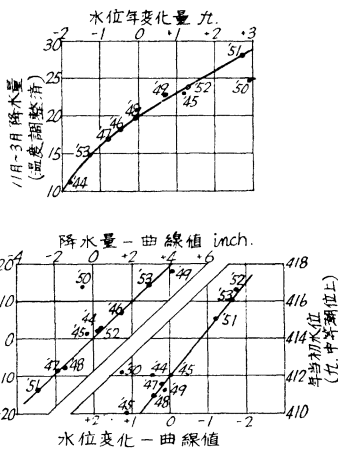
図-5 冬季雨量-水位年変化図(1944~53)



は平均曲線に対し左側におちる傾向があり、水位の低い年のデータは右側におちる傾向がある。この関係から明らかのようにこのちらばりは地下水位に関係しており、従つて河川への排水を表わす地下水の減衰曲線に関係している。図-5の第1次平均曲線を引きその曲線より水位変化量の各点との差をその年の初めの地下水位(中等

潮位上) に対しプロットして曲線を引き、これを用いて第1次の曲線を補正する。この操作を数回くりかえして基礎曲線をうる。この曲線に対しさらに残っている点のちらばりには冬季温度が重要な影響を与えている。基礎曲線より降水量の各点との差をその年の冬季温度(温度の平均値との差を度一月で表わしたもの)に対してプロットして曲線を引き、これを用いて基礎曲線を補正する。このようにして3つの曲線が最もよく適合するように補正して得られたのが図-6である。上の基礎曲線の図は標準冬季温度

図-6 51-8-1 井水位予報相関図



および標準水位(標高)のときの相関図である。1950年は80年間の記録のうち最も雨の多い年で夏季雨量が数カ月にわたり蒸発量を上まわつたため3月末以降非常に多くの復元が行われ、従つてこの年の点は曲線のりなかつた。この曲線の平均勾配は冬季降水量が25.4 cm (10 in) 加わるとに約92 cm (3 ft) の地下水位の上昇の起ることを示している。一方貯溜係数は0.2 (揚水試験による) であるから25.4 cm (10 in) の水で50 in=128 cm の水位上昇を起すはずであるが、実際は上昇が3 ft だということは降水量の70% が地下水を復元させるに用いられ、30% は蒸発と土壤温度の回復に用いられることを示す。また冬季温度は復元量を決定するのに非常に重要な役割を演じ、11月~3月温度が平年より7°F一月の変化があると地下水の復元を2.54 cm 変化させる。

この方法を用いて1954年の春地下水水位が約61~92 cm 低下するという予報を出したところ1954年12月には水位低下は平均85.4 cm に達した。

(建設省河川局 稲田 裕)

### コンクリートの耐凍性について

“De la Gélivité des Bétons”  
par J. Orth

La Technique Moderne Construction  
1956, juin, juillet.

この論文は Laboratoire d'Albertville d'Electricité de France において、1953 年以来行われてきた実験を中心にして、おもにコンクリートの各種の性質が耐凍性にどのような影響を与えるかについて論じており、次のような項目があげられている。

A) セメント:(a. セメントの性質, b. セメント

使用量)

B) 骨材:(a. 鉱物学的性質, b. 粒形)

C) 粒度:(a. 粒度曲線, b. 骨材の最大寸法, c. 微小部分の除去)

D) 混和剤:

E) 寒気にさらすことの影響:(a. 人工凍結と自然凍結との比較, b. 供試体による耐凍性試験の有効性)

この報告のうちの凍結融解試験は次のような方法で行われた。

コンクリートは打込後24時間で脱型し、材令21日まで湿度100%、温度20°Cの室で養生され、21日から凍結融解試験が始められる。凍結は-25°Cの空气中で12時間継続され、融解は+20°Cの水中に12時間放置される。従つて1 cycle は24時間で、1週間に5 cycle の試験が行われる。

コンクリートの強度の判定は、衝撃波の伝播速度の測定によつて行い、この値と破壊試験による強度との間には相関関係が求められている。大体の目安をのべると、2500 m/sec 程度の値でコンクリートの引張強度はほとんど0になる。

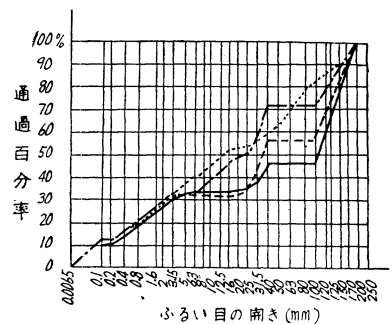
### (1) セメント

a) セメントの性質 ここにあげられた実験では、ポルトランドセメント50%と10000目ふるいの残量3%の粒度を有するスラグ50%とを混じたものが、耐凍性に関して非常によいという結果が出されている。

結論として、セメントの性質がコンクリートの耐凍性に関して、重要な役割をはたすこと、スラグ30%あるいはそれ以上をセメントと混ぜて使用すると耐凍性が増すこと、スラグの適当な粒度については、はつきりわからないが、10000目ふるいの残量が8%では、あらずること等が述べられている。

b) セメント使用量 骨材の最大寸法は200 mmで、Fauryの粒度(図-1参照)による骨材を使用し、単位セメント量は150, 200, 215, 250, 350, 450 kg/m³の6種として凍結融解試験を行つているが、この実験によると、単位セメント量が

図-1



215 kg/m³ 以下では耐凍性がいじめるしく、少くとも250 kg/m³ 以上のセメントを使用する必要があることが示されている。なお80 cycle をこえるあたりから単位セメント量350 kg/m³、450 kg/m³ のいわゆる富配合のコンクリートの強度が下がり始める傾向が見えているが、著者はこれを指摘している。そして結論として、必要なセメント使用量はセメ

ントの種類によつて大いに変るべきであることを述べている。

## (2) 骨材

**a) 鉱物学的性質** 強いコンクリートをうるために、セメントペーストと骨材の付着が強いことは、一つの大切な条件であるが、一口に付着と称しているものも次のように分けて考えることができる。すなわち、骨材とペーストとの接触面の凸凹によるかみあいによる付着、化学反応によつてセメント骨材とが中間生成物を生じ、一体化することによる付着、表面引力による付着、そして最後にセメントの結晶が骨材の組織と網の目を共有する、いわゆる *épitaxique* な現象による付着である。この論文では最後の *épitaxique* な現象を論じている。つまり骨材のうちで石灰質の方解石とシリカ質の石英とでは、セメントペーストとの付着の状態が異り、前者は *épitaxique* な現象によつて付着が強くなる。Amont ダムの工事にはこの性質を利用して石英質のかわりに石灰質の砂を用いたことにより、機械的強度、透水性が改善され、凍結融解に対する抵抗もセメント、A E 剤、骨材の共同作用によつて十分保証されたということが報告されている。そして著者は石灰質の骨材で作られたコンクリートは、気象作用に対していちじるしく強くなる可能性があることを強調している。

**b) 粒形** 骨材の粒度が同じであつても、骨材の粒形が異なると、コンクリートの性質に異なつた影響を与える。フランスでは骨材の粒形をあらわすのに体積係数 (*coefficient volumétrique*) を用いている。この論文においても体積係数の異なる 2 種類のコンクリートについて凍結融解試験を行つているが、体積係数の大きい方が多少よい結果を示している (訳者註：体積係数というのは、ある一つの骨材の最大寸法を直径とする球の体積に対する、この骨材の体積の比で表わし、骨材が球形に近づくほど、値は 1 に近くなる)

## (3) 粒度

**a) 粒度曲線** 骨材の粒度曲線が変わると、コンクリートの耐凍性にどのような影響をおよぼすかという問題に関して、次のような実験が行われた。

骨材の最大寸法を 200 mm に選び、粒度曲線は 図-1 に示すごとく、1 種類の連続粒度のもの (Faury の粒度) と 40~100 mm の骨材をのぞいた 3 種類の不連続粒度のものが選ばれた。骨材はぼろぼろになりにくい片麻岩で、セメントは C.P.A. 250/315 (強度 250~315 kg/cm<sup>2</sup> のポルトランドセメント) である。ウオーカピリチーが一定になるように配合が決められ、コンクリートは 60 cm の立方体の供試体に打ち込まれた。表面活性剤、気泡剤は使用されていない。

試験の結果は 図-2 に示されるごとく、不連続粒度のものは圧縮強度は高くなつているが、耐凍性はおちている。その説明として著者は、セメントと骨材の熱膨脹係数の差、水圧の集中が不連続粒度のコンクリートに対して厳しく作用するためであると述べている。

**b) 骨材の最大寸法** 骨材の最大寸法および、コンク

リート供試体の大きさが変わると、凍結融解試験の結果にどのような影響を与えるかという実験が行われた。これは Amont ダム

図-2

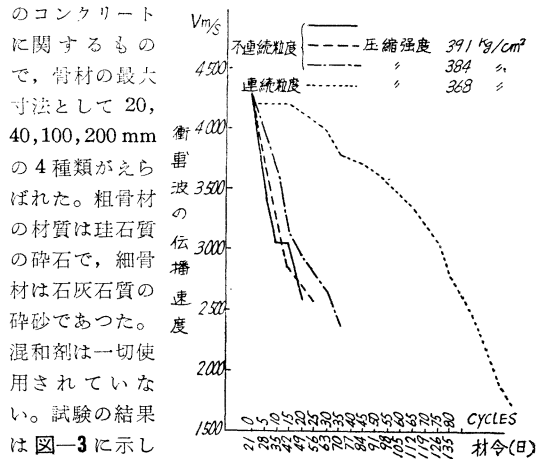
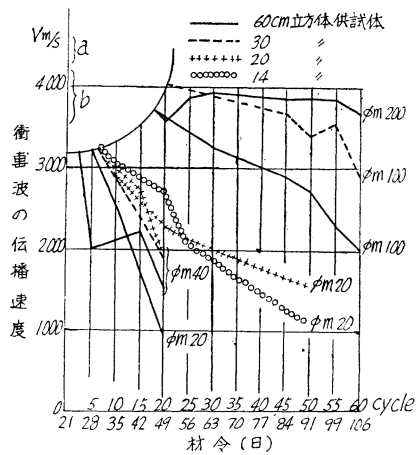


図-3 に示してあるが、最大寸法 200 mm を用いたコンクリートが、もつともよい結果を示している。

図-3



供試体の大きさと耐凍性の関係については、供試体の大きさが大きくなると耐凍性が弱くなるような結果が出ており、常識と反対のような感じをうける。これに対して著者も明確な説明を与えていないが、供試体が小さい場合の quick freezing 0°C 前後において内部応力が転換する場合に生ずるせん断応力、セメントと骨材の熱膨脹係数の差、ブリーディング等の影響によるものではないか? と述べている。

## (4) 混和剤

これに関する実験および報告は世界各国で非常に多く出されているので、省略する。

## (5) 寒気にさらすことの影響

**a) 人工凍結と自然凍結の比較** 同一のコンクリートで作つた供試体を、一つは実験室で凍結融解試験を行い、他は海拔 1757 m の Grotte ダムの頂上で自然の凍結

融解作用を受けさせている。両者の結果を比較すると、ある場合には自然凍結によつても人工凍結によつたのとはほとんど同程度の損傷をうけている。

結論として次の2項目が述べられている。

i) 人工の凍結融解作用が自然のそれにくらべて厳しすぎるとはいえない。

ii) 人工の凍結融解作用はコンクリートの自己回復作用を許さない程度の早さでくりかえされるので、早くコンクリートの品質を判定することができる。

なお類似の論文が A.C.I. Oct. 1953 に Kennedy および Mather によつて発表されており、本誌 39 巻 2 号に杉木氏が抄録されている。

b) 供試体による耐凍性試験の有効性 Girotte ダムにおいて、実際の構造物の凍結融解作用による損傷と、同一場所に置かれた供試体の損傷とを比較して次の結論を出している。

i) 側壁の影響 (l'effet de paroi) がなくなるような大きさの供試体によつて行つた凍結融解試験は、実際の構造物の耐凍性をよくあらわすことができる。

ii) 大きな断面のコンクリートは小さい断面のコンクリートより凍害をうける割合は少くない。

iii) Girotte ダムのコンクリートでは 500 cycle 以上の凍結融解作用をうけているが損傷はおこっていない。

(鉄道技術研究所 野口 功)

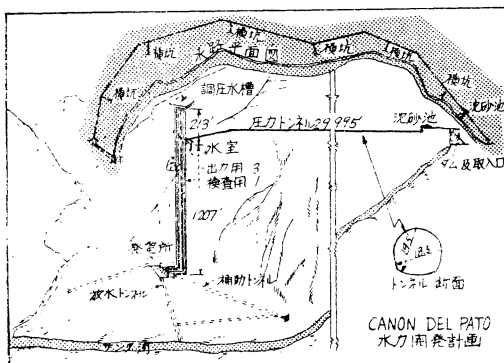
## ペルーおよびブラジルの新水力開発

“The Canon del Pato Hydroelectric Project”  
and “Brazilian Dam”

E.N.R., Vol.157 No.18 Nov. 1, 1956

I. ペルーの del Pato 峡谷における水力開発 Andes 山脈の西斜面 Huallanca における del Pato 峡谷の水力開発は近日中に完成する。この峡谷はきわめて幅が狭くまた 7 mile (11.3 km) の間に 1 500 ft (467 m) の落差が得られる。この Santa 河を統制して初期に 50 000 kW、最終的には 15 000 kW の発電を行う予定である。ペルーにとつて画期的なこの電力は、約 83 km 離れた Chimbote 製鋼所に供給される。水力開発および製鋼所の工費は、約 40 000 000 ドル (144 億円) である。建設に当るのは、Societe d'Exploitations Industriells

図—1 Canon del Pato 水力開発計画



(2 550 万ドル—92 億円—で契約したフランスの経済産業団体) と, Corporation Peruana del Santa (1 600 万ドル—59 億円—で契約したペルーの建設技術者組合) とであり、後者が建設の全責任をもっている。

(1) ダム、トンネルおよび発電所 河幅わずか 100 ft (30.48 m) の場所に高さ 177 ft (53.84 m) のコンクリート重力ダムを築造し約 11 億 m<sup>3</sup> の貯水容量により最小 1 400 cfs (30.7 m<sup>3</sup>/s) の水を発電所に供給する。取水口は Huallanca から 6.5 mile (約 10 km) 上流のダム右岸に設けられ、延長 5.5 mile (8.9 km)、内径 18.5 ft (5.64 m) のトンネルにより、Huallanca から 1.5 mile (2.4 km) 上流にある発電所に導水される。トンネルは総掘削量 306 000 cyd (224 000 m<sup>3</sup>) であり岩質はカコウ岩であつて、全長にわたりコンクリート巻立を行い計画流速は 4 fps (1.22 m/s) である。トンネルの掘削は 8 本の立坑を採用した。発電所地点は深さ 1 430 ft (531.8 m)、径 10 ft (3.05 m) の立坑を掘り上下より掘進し、4 本のうち 3 本は発電用とし 1 本はエレベーターが設備される。主トンネルは立坑の頂部より 213 ft (64.9 m) 下の分流室で終り、立坑の下から 3 本の径 7 ft 鉄管で発電所内に導水する。各立坑は発電機 2 基分の水を供給し発電機は 25 000 kW 6 基であり、1 基分の水量は 265 cfs (8.1 m<sup>3</sup>/s) である。発電所は長さ 367 ft (112 m)、幅 36 ft (11 m) の大きさである。有効落差は 1 350 ft (411.48 m) で 5 基は負荷変動に対応し、1 基は固定負荷のものである。この発電機は 2 台のペルトン水車の間に挟まれた 1 基の発電機で成立する独特のものである。使用後の水は 1 538 ft (471 m) の放水トンネルにより Santa 河に直接放流される。

(2) Aluvion Santa 河の源は 200 コもの氷河時代における沼湖から成り、洪水期には 15 あるいは 16 の湖から流出する泥や岩屑の濁流が del Pato の狭い谷間を通過する。この Aluvion (ペルーでは前記の現象をかく呼んでいる) は、1950 年 10 月にあつた一連の洪水の際に、平原に設置されていた多くの建物や設備を一掃してしまつた。1950 年の Aluvion の後水力開発のコンサルタントである、New York 市 Sandersen & Porter 協会が取水口構造の再設計を含む新計画を発表した。それは峡谷の岸に流身に平行に設けられており洪水時の衝撃を防いでいる。Aluvion の発生に当つても警報機構が作動し洪水が去り取水口付近が清掃されるまで、電動式の洪水用水門を閉じている。この洪水によるぼう大な砂を除くために取水口から 1 820 ft (555 m) 離れた所に排砂弁が設けられ、その地点で主トンネルは 3 コの卵形断面に拡げられて泥土排除のため鉛直に 118 ft (35.96 m) 落ちている。

電力開発計画は 1957 年 5 月に着工の予定である。送電線は初めの半分はアルミニウム製で、残りは銅製のものとし、21 ft (6.40 m) の鉄塔上を 54 mile (8.7 km) 離れた Chimbote 製鋼所まで張られる。送電電圧は 13 800 V である。Santa 河の水力利用計画は 1913 年に Santiago の Antunes Mayola によつて提案され、1942 年にアメ

リカの技術者 Barton Jones が責任者となつて、Santo Corp. が開発に着手した。1955 年 3 月に最終的の完成のための契約が成立した。現在電力開発に当つては Luis Ghigliano が Santa Corp. の責任者であり約 1 500 人の労働者が働いている。この開発はペルーの電力増産および工業力強化の点で絶大な期待がかけられている。

II. 河川を重要な内陸航路にするブラデルのダム開発  
5 年にわたる計画の後ブラデルの Sao Francisco 河で 13 500 万ドル (486 億円) の Tres Marias ダムが着工された。ダムは Rio Borachudo 河口付近に建設される。Rio Borachudo は鉱山町である Belo Horizonte の北方で Sao Francisco 河に合流する。工期は 8~10 年の予定である。開発の焦点は、Sao Francisco 峽に建設される長さ 8 600 ft (2 620 m) のダムである。このうち左岸の 5 000 ft (1 524 m) 以上がアースダムであり、残りの小部分が発電用取水口、余水吐、洪水調節の目的に使用される。Tres Marias は 500 000 kW の電力を包蔵しているが、今回は 180 000 kW を開発する計画である。付近の住民にとつてダムの重要な機能は流量を調節することによつて海洋の船舶が約 800 mile (1 287 km) も上流まで航行できるようになることである。このためブラデル奥地の河川航行はアメリカおよびカナダ向けの St. Lawrence 航路と同様となるように期待されている。Paulo Afonso には既設の大発電所があり、Tres Marias の完成の暁には、Paulo Afonso の出力は現在の 540 000 kW から 900 000 kW に増大する。これは今回の Tres Marias ダムによつて適当な洪水調節がなされるからである。Tres Marias ダムの高さは 230 ft (60 m) で延長 93 miles (149 km) におよぶ貯水容量約 80 000 万 cuft (2 266 万 m<sup>3</sup>) の貯水池を作っている。この電力は 144 sqmil (373 km<sup>2</sup>) の広さを有する豊富な鉄およびボーキサイト地域の中心部に供給される。開発は Comissao do Vale de Sao Francisco (Paulo Afonso にある) によつて進められ、技術的な援助は Cia. Electricas Minas Gerias (州立の電力会社) が行つている。遠からず飛行場、工事用道路、送電線が建設せられ開発に便宜を与える予定である。(口絵写真参照)

(建設技術研究所 湯浅 昭)

### 記録的な全溶接橋

“Viaduct Sets Welded-Girder Record”  
E.N.R., Nov. 1, 1956

この橋は New York に新設された全橋長 794 ft (≒ 242 m) 6 径間の全溶接跨線橋で、その中の最大径間が

234 ft (≒71m) である。従来の米国記録は 200 ft (≒ 61 m) であるが、ヨーロッパではマルチプルウエブ構造でもつと長径間のものもある。しかしこの橋はシングルウエブ構造では世界的である。

写真一



この橋は 3 径間ゲルバー桁を真中にして東側に 2 径間、西側に 1 径間の単桁がある。このゲルバー桁中央径間が 234 ft (≒71 m) で突桁が 50 ft (≒15 m)、吊桁が 134 ft (≒41 m) である。また定着桁は 125 ft (≒38 m) である。主桁数は 14 本でその間隔は 8'4" (≒2.5 m) である。

幅員は 12 ft + 13 ft + 12 ft (≒3.6 m + 4.0 m + 3.6 m) の 3 車線が 2 列並んでおり、その他に幅 6 ft (≒1.8 m) の小地帯と 2-1/2 ft (≒80 cm) の安全歩道が 2 つづつある。床版厚は 7-1/4 in (≒18 cm) でジベルにラセン鉄筋を用いて鋼桁と合成させている。この橋は斜橋で、しかも半径 2 000 ft (≒610 m) の曲線部が入っている。

桁高は普通のカ所が 4'8" (≒1.4 m) でゲルバー桁中央支点上で 11 ft (≒3.4 m) に拡大されている。腹板厚は 3/8~1/2 in (≒9~13 mm)、フランジプレート厚は 3/4~3 in (≒19~76 mm)、幅は 18~24 in (≒47~61 mm) である。また一番外側の桁の露出面は水平補剛材だけ使用して外観を整え、他の面および中側の桁は垂直補剛材を使用している。

ヒンジ上の伸縮継手は跨線橋であるからゴム状アスファルトを使用して特に水密に作られている。橋脚は鉄筋コンクリート柱で造り、基礎にはコンクリート杭を用いた。この杭の耐荷力は最小 30 t である。

この橋の設計に用いられた活荷重は H 20-S 16 (大体わが国の一等橋) で、使用材料は構造用鋼 3 100 t、鉄筋 675 t、コンクリート 7 300 cuyd (≒5 600 m<sup>3</sup>)、コンクリート杭延長は 32 000 ft (≒9 760 m) である。

(宮地鉄工所 小池 修二)

### 論文集講読者の方々へお断わり

論文集はナンバーを通ずるを原則としておりますため、一般論文集以外に随時刊行される別刷論文集(著者実費一部負担で有料配付)も、自動的に無償で送付されてくると考えておられる会員がおられますので、ここにお断わりしておきます。

別刷論文集は一般論文集と違い専門的なものが多く、部数も 500~1000 部位しか印刷しませんので定価も高くなり、限られた希望者にのみ有料頒布しています。

会誌の“お知らせ欄”には別刷論文集の刊行ごとに予告しており、最近では 37 号(伊丹氏)、40 号(村山・柴田氏)、41 号(岩垣・土屋氏)が別刷ですから御注意下さい。