

土木學會第1回年次學術講演會講演

(橋梁及一般構造物之部 No. 17)

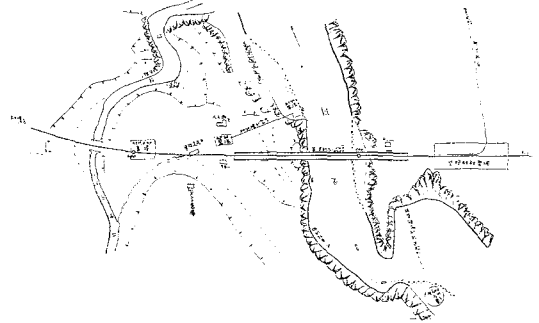
音更線第3音更川拱橋架設工事に就て

(On the Construction of Daisan-Otohuke Railway Bridge.)

准員 辻 口 淺 吉*

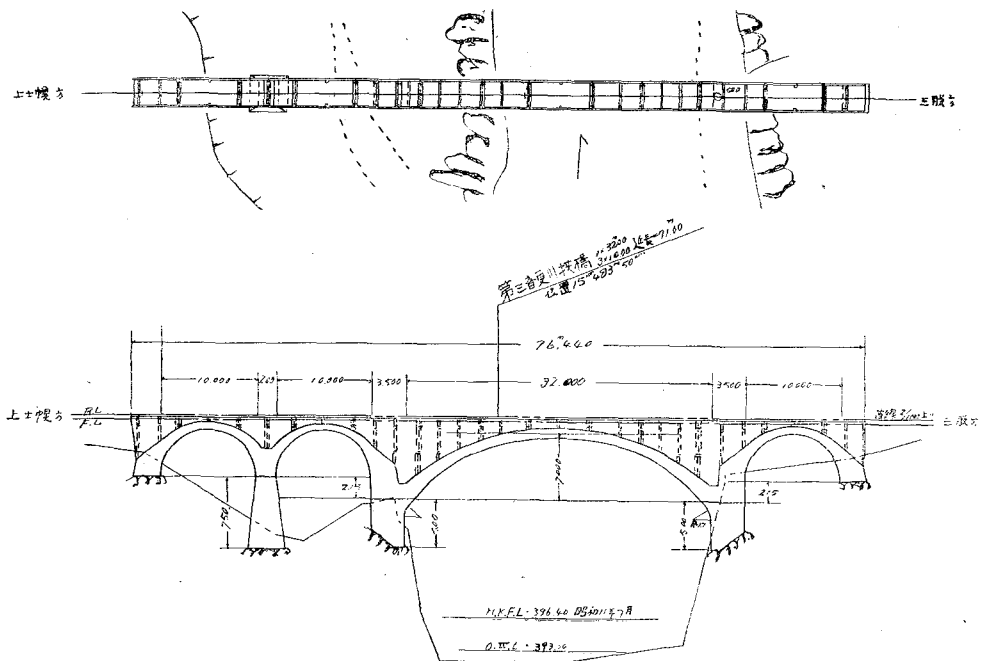
1. 音更線の概況 音更線は根室本線帯廣驛より分岐する土幌線の終端上土幌驛より音更川に沿ひて北進し十勝川三股に至る延長37.9kmの路線である。沿線一帯は大雪山國立公園に屬し、奇岩所々に點在し加ふるに鬱蒼たる蝦夷松の密林は晝尙ほ暗く又數軒に渉る白樺林は音更川の清流と相俟つて、眞に國立公園の名に背かざる絶勝の地である。本橋架設地點は本線路中幅員狹少にして岩塊隆起し、拱橋架設には絶好の地である。

図-1. 第3音更川拱橋設備圖



2. 橋梁形式の選擇と徑間割の決定 現今の我國鐵道線路に於ける橋梁を見るに、大都市の市街鐵道に於

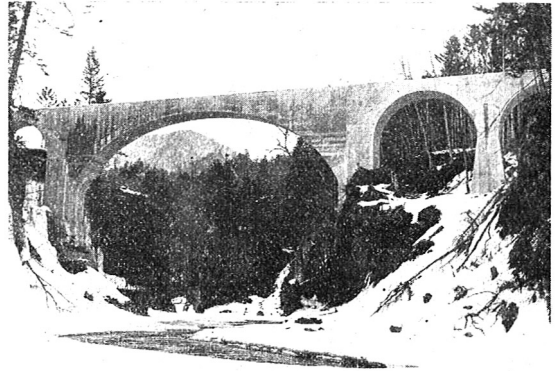
図-2. 第3音更川拱橋一般圖



* 鐵道技手 鐵道省北海道建設事務所勤務 (昭和12年4月11日講演)

ては各種のコンクリート橋建設せられ居るも、運搬交通不便の建設線に於ては其の多くは円形、矩形又は楕円形橋脚上に鉄桁を架設し居ると云ふも過言にあらざる程一定の形状色彩を備へてゐる、製作工場に近く其れ等鉄桁類の運搬に便なる地方に鉄桁を使用し、砂利、砂等工事材料の採集容易なる地方にコンクリート橋を架設せらるゝは理論的なるも、事實は之に反するか如き傾向がある。北海道に於ける建設線の如きは東京又は阪神地方にて製作せらるゝ鉄桁に砲當り約 25 円の運送費を支拂ひ山間の溪谷に架設し居る状態にして不經濟なるものと推意せらるゝのである。依つて音更線に於ては成るべく現地に産する材料を利用しコンクリート拱橋を設計施工することゝした。音更川は平均勾配 1/100 なる急流にして一時的の増水多く其の量も 3m に及び、河底の洗掘せらるゝは勿論倒木の流出するあり河心にて相當の大径間を必要とした。本橋梁は茲に述べし條件を考慮し兩岸の地形基礎の状況により美觀を損せざる様、径間割を次の如く決定した。径間 32m 鉄筋コンクリート拱 1 連、径間 10m コンクリート拱 3 連。

図-3. 竣工せる第 3 音更川拱橋



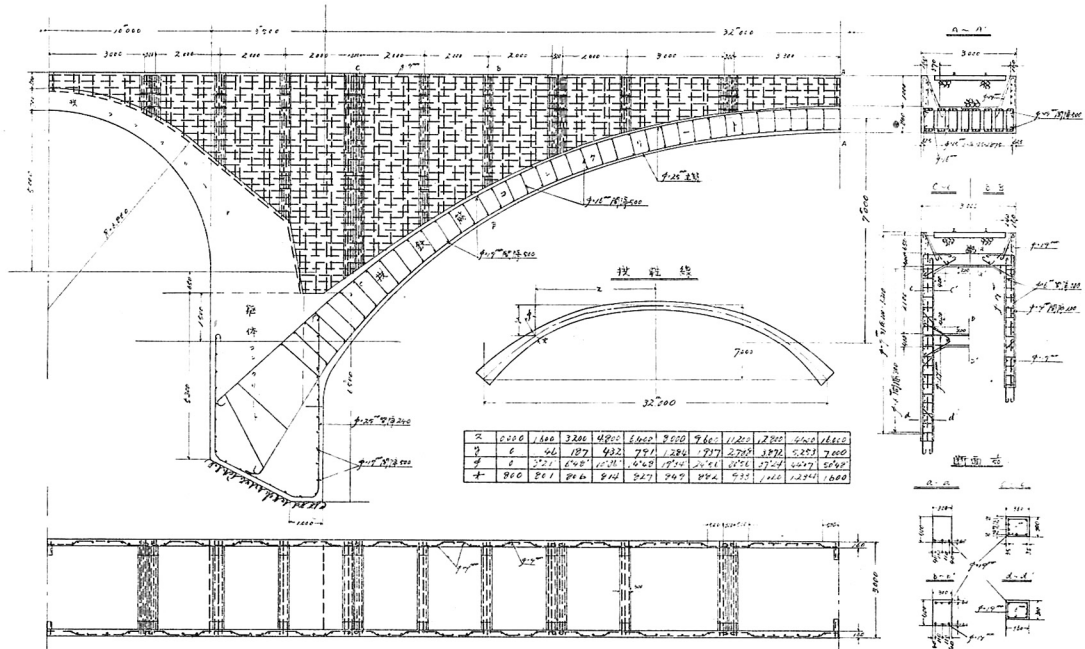
3. 設計の大要 A. 径間 10m の拱は鉄筋を使用せず之を 疊石拱と考へ設計は計算及図式解法により力学的に各部の応力を照査した。撃衝係数は其の断面の水平となす角の正弦に比例するものとして各断面毎に算出し、拱肋に於ける荷重載荷法は a) 拱肋並に其の上部を填充する軌道諸材料の重量よりなる死荷重のみの場合、b) 死荷重の他に拱の右半に等布活荷重の作用する場合、c) 全径間に死荷重及等布荷重の作用する場合、以上 3 つの場合に於ける応力を図式にて算出した。此の方法によりて各部の応力を算出せるに最大 8 kg の圧力、0.5 kg の張力に過ぎなかつた。

表-1.

名 稱	鉄筋コンクリート拱	コンクリート拱
活 荷 重	KS-15	KS 15
撃 衝 係 數	20%	25%~40%
拱 肋 の 形 式	無鍍充腹肋拱	疊 石 工
拱 軸 線 の 種 類	変形垂曲線	円 曲 線
径 間 (m)	32	10
拱 矢 (m)	7	5
拱 橋 の 幅 員 (m)	3	3
拱肋の厚(拱頂起拱)(m)	0.8 1.60	0.7 1.26
主 鉄 筋 (mm)	25	
コンクリートの許容応力 (kg/cm ²)	60	60
鉄 筋 の 重 量 (t)	15.4	
コンクリートの容積 (m ³)	116.5	65.6

B. 径間 32m の拱は 1) 材料費の増加比較的少くして強度の増加大ならしめ、2) 拱肋より来る重量を減じ従つて自重より来る応力を減じ豫め知り得べからざる原因例へば地震又は硬化に基くコンクリートの凝縮等より来る拱肋内の応張力を採り其の龜裂を防ぐため、鉄筋を使用する事とした。拱橋の形式は竣工期間に左右せられ、鉄筋は市場品を使用する關係上モニー式を採用した。拱の形状は死荷重のみを加へたる時、其の圧力線が拱軸線と一致する如く定めるのが理想的なるを以て変形垂曲線とした。拱頂に於ける肋厚はドグラス氏の實驗公式により 80 cm とし起拱點に於ける厚さは拱頂の厚さの 2 倍をとり 160 cm とした。鉄筋量は拱頂断面積の 1% とし径 25mm の主鉄筋を 125 mm の間隔に配置したのである。温差に基因する熱応力は鉄筋コンクリート拱に至大なる影響あるべきを慮り、昭和 10 年 8 月中に於ける最高温度の平均 27.1°C、昭和 11 年 1 月中に於ける最低温度の平均 -9.5°C を基礎として次の如く決定した。即ち気温の変化は 36.6°C にして充腹肋拱なるにより外氣の温度の 75% の影響を受くるものとすれば 27.5°C、之に幾分の餘裕をみて ±15°C とした。設計並に計算法は彈性理論に基き感線法を適用した。即ち径間を 20 等分し各點に單位荷重を加へ以て彎曲率、推力、又は剪力に對

図-4. 第3音更川拱橋鉄筋配置図



する感線を定めた。之に依つて各断面の応力を求めた處コンクリートに於ける最大圧力は 54.3 kg, 鉄筋に於ける最大張力は 230 kg となつた。

C 拱側壁は剛節構として計算し之に依りて両側壁を緊結し砂利を填充した。又温度の変化により拱肋が短縮し従つて拱肋が低下するに至り、拱頂部と拱脚との間に伸縮接合を設けなければ拱側の孰れかの部分に縦龜裂を生ずる結果となる。よつて本拱橋にては剛節構を 5~6 m 間隔に 2ヶ所づゝ造りて縁切れとした。

4. 拱架 拱肋コンクリートの施工方法は 1) 單獨地區に分ちコンクリートを充分凝縮せしめて拱肋完成後の凝縮応力の影響を成るべく小ならしむること, 2) 全径間のコンクリートを 1 日に施工すること不可能なるを以て拱肋を分割施工の必要あること, 等によりて横割施工法によることとした。10 m 無鉄筋拱は勿論 32 m 鉄筋コンクリート拱も前述の如くモーニー式を採用したのでメラン式の如く、コンクリート及拱架の重量を鉄筋に負擔せしむることが出来ず、拱架組立中の自重は全部足場に頼らなければならなかつた。

拱架は其の形状及其の位置が不動不変なることを要し若し拱架の強度不充分にして其の形状或は位置が動揺するときは、圧力線の形に変化を起し拱の安定度に影響を及ぼすことになる。又拱架を取拂ふときは總て一様に動き衝動を生ぜざる様にする。この方針に基づき良好な基礎を得たる本拱橋にては 10 m 拱に次の如き設計をし

図-5. 32 m 鉄筋コンクリート拱鉄筋組立

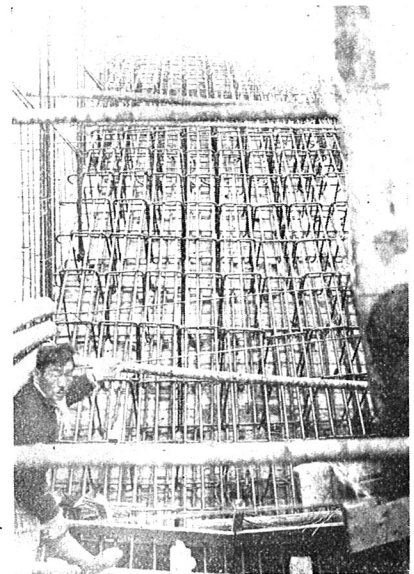


図-6. 第 3 音更川拱橋型枠図

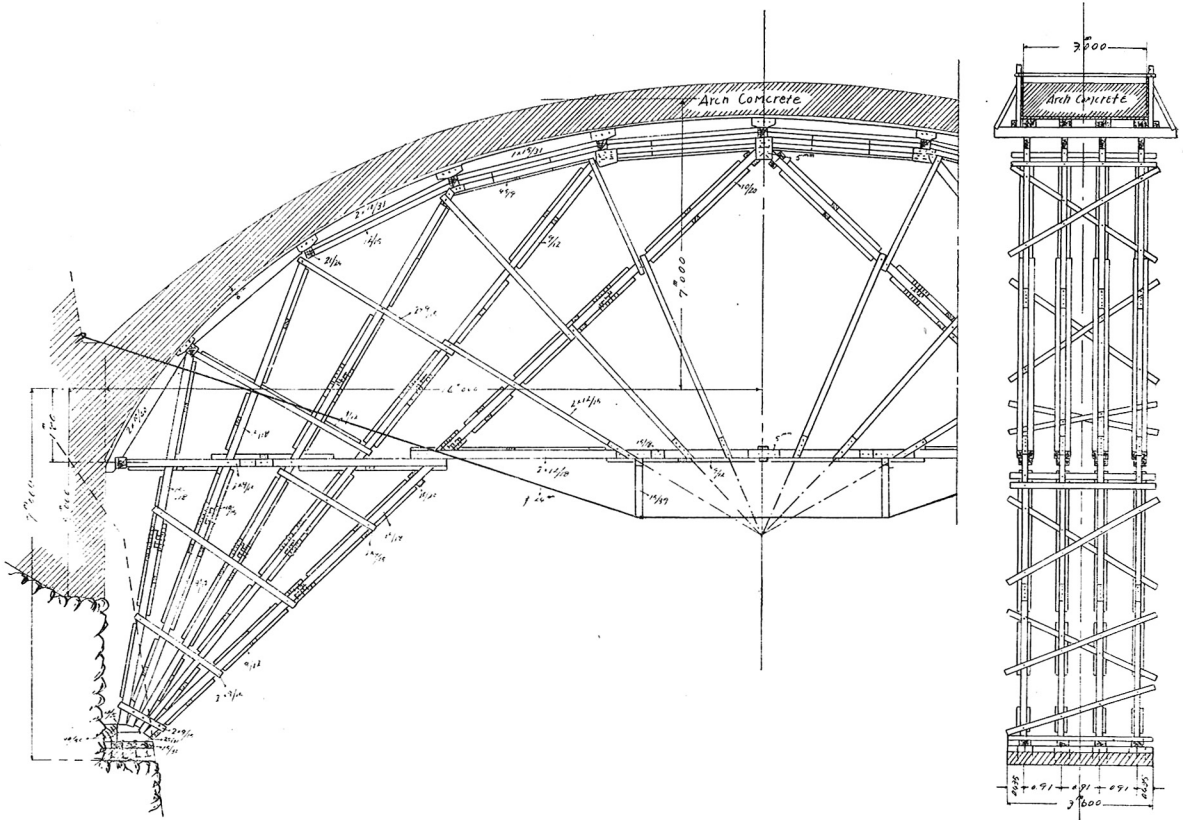
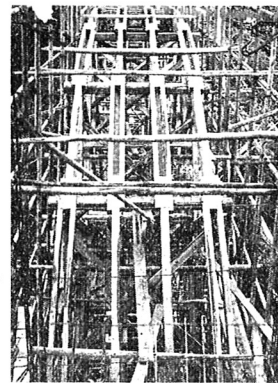
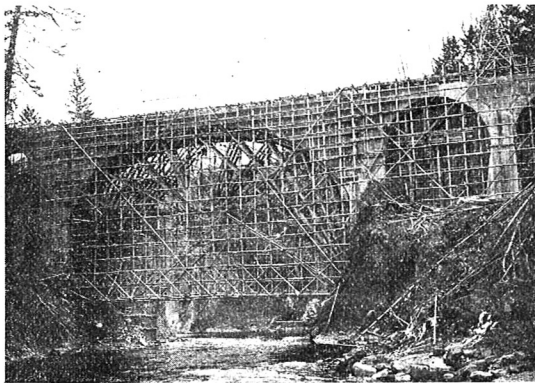


図-7. 32 m 鉄筋コンクリート拱の拱架竣工

図-8. 拱架組立



た。拱架櫛形の両端は楔を以て拱脚に豫め埋込みたる金物にて支持し、拱架結構の中央部は拱の起拱線附近にて之に平行に置かれたる木材上に載せ、而して木材の下に楔を置く換言すれば楔にて此の木材を支へた。此の楔の下に第 2 の木材ありて此の第 2 の木材は柱にて支持せらるゝ様に設計した。拱架の間隔は 1 m とし幅 3 m のコンクリート拱に對し 4 列配置した。拱架は松角材を使用し櫛形の大きさは 10×30 cm 厚、板の厚さは 5 cm とした。部材はボルト締めとし楔の大きさは 15×50 cm 而して 1/10 の勾配を附して 2 枚重ね合せ各櫛形各端の下に置

き、組立取外しに有効に使用した。

径間 32 m 拱の兩拱臺下部は断崖をなし、流速強く支保工の基礎を作するには多大の苦心を要した。河中に之を求めれば流れに障害となり一朝洪水に遭遇せんか折角の計畫も水泡に歸するであらう。依つて支保工は方杖とし流水に關係なく支保工の自重及硬化前のコンクリートの重量は兩拱臺下の岩盤に傳達せらるゝ如く設計した。即ち拱臺前面の岩盤を垂直に切り下げ均しコンクリートを打ち、豫め之に埋めこみたるアンカーボルトにより方杖受けを緊結せしめ、方杖受けよりは 5 本の方杖を後光に差し延べ各方杖は内梁によりて對稱的に結構として働かしめた。方杖上部には枕梁を取り付け楯形を置いて厚板を張つた。方杖の長さものは 20 m に及び荷重による彎曲を減ずる爲、數ヶ所に振れ止めを施し、又側面より來る風圧の変形を防ぐ爲、筋違ひを充分に用ひ、尙ワイヤーロープにて附近の岩石に膠着せしめた。部材は松挽材を使用し現寸にて切込み拱架組立は足場上に架設したる輕便軌條にて橋梁中央部迄運搬し、第 2 拱臺側に設置したるウィンチにて捲き上げ所定の位置に吊り降ろした。部材送り出しの順序は最初に方杖を内側より外側へ對稱的に降下し、陸梁にて間隔を整正し内梁、斜材を取付けたので比較的順調に施工する事が出来た。

斜材にも幾分荷が働くのを豫想し之を拱臺に傳へんが爲、陸梁に垂直に 2ヶ所柱を建て之を 径 25 mm にて吊り兩端は 10 m コンクリート拱の下部背面に取り付けた。拱架の中心間隔は 1 m とし 4 列配置し方杖の大きさは 18×15 cm、斜材は 15×9 cm、楯形の大きさは 15×30 cm 1 枚と 10×30 cm 2 枚と交互に継ぎ合せた。各部材はボルト締めとし、方杖内梁楯形の格點には厚さ 5 mm の金板を取り付け補強した。施工後の自然沈下支保工型枠の締りは幾何なるやは豫測し得ざる所にして、之が整正には楔の如き簡單なるものにては不可能なるべしと思ひ、自然のまゝに委ねることゝした。上げ越しは拱頂部に於て 4 cm とし、拱架組立後數度にわたりてボルトのゆるみを締め直し施工したが、最後の下りは 3.5 cm にして偶然にも最初の上げ越しに稍一致したのである。尙型枠の下りはコンクリート施工の欄に於て詳述しよう。

5. **コンクリート工** 前述の 32 m 鉄筋コンクリート拱架の繋釘を取付くる必要上 10 m コンクリート拱より取りかゝつた。10 m 拱及 32 m 鉄筋拱の基礎をなす拱臺コンクリートの底面は川に向ひて滑り出すが如き状態にありしを以て、岩盤に鉄片を埋込みて之を防ぎ、10 m 拱架は 32 m 鉄筋拱完成迄之を放置した。コンクリートは骨材セメント置場の關係上第 1 拱臺側に 8 才練バッチミキサーを設置し、搬出は拱架組立に用ひたる輕便軌條により鍋トロにて運搬し漏斗にて流下した。10 m 拱の施工區分は 7ヶ所とし 1 にセメント (50 kg) 50 袋を載せ拱架の締りを檢べ之を整正して後、2, 3, 4, 5、と順次下方より對稱的に施工した。3, 4、はコンクリートの進行につれて裏板を張り上げ 5 のみ叩き付けとなし、區分 3 の下部に径 5 cm の鉄管を入れて水抜きとなし又アスファル

図-9. 径間 10 m 拱橋型枠圖

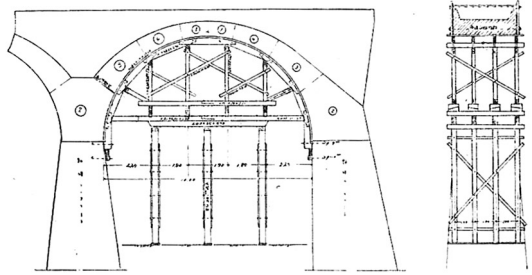
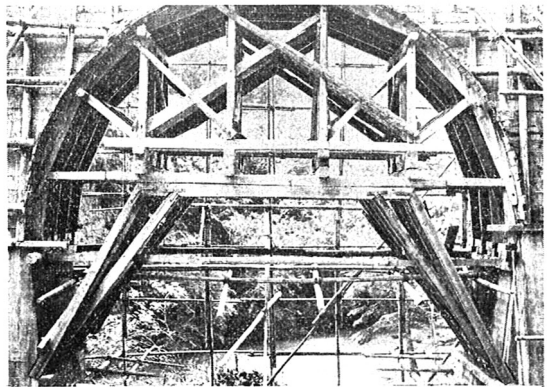
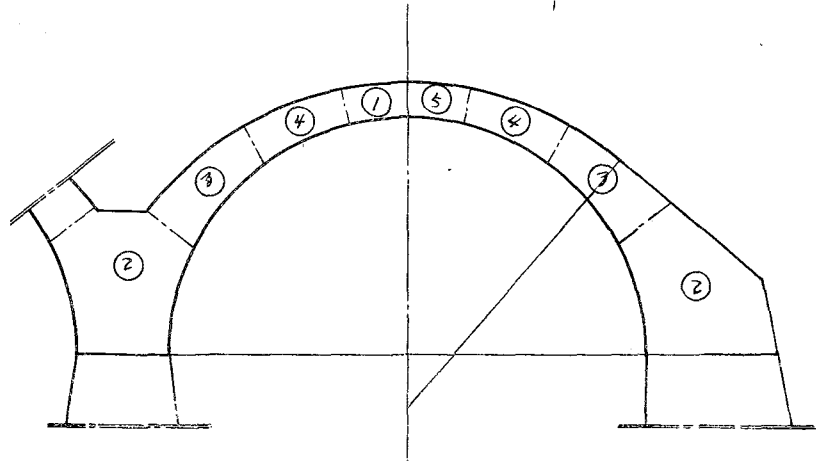


図-10. 径間 10 m コンクリート拱の拱架



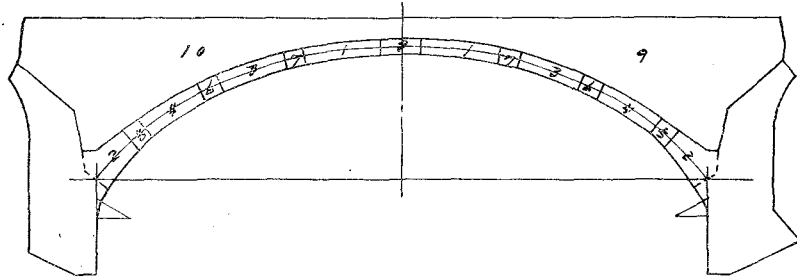
トフェルトを挿入して伸縮
 接合とした。又凝縮による
 龜裂を防ぐ爲 2 を施工して
 より 2 日間放置し 3 を施工
 した。かかる方法によりて
 拱を完成したのであるが施
 工後の沈下は 1cm 内外に
 して荷重は主として橋脚に
 働き拱架には餘り及ぼさな
 かつた。32m 鉄筋拱は最
 初拱頂部を施工し次で左右
 兩下腹部、最後に左右中腹
 部を施工し、コンクリート

図-11. 径間 10 m コンクリート施工順序



自身硬化による凝縮を顧慮
 して残し置きたる間狭コン
 クリート(延長 1m)の空
 隙を図に示した順序により
 施工し、最後に拱頂間隙を
 填充した。

図-12. 径 32 m 鉄筋コンクリート拱施工順序



各區劃の仕切板は横板を
 以てし填充には特に注意し

て鉄筋下部にコンクリートの行き渡れる様自然軟練りを採用した。拱肋の上面はコンクリートの填充に伴ひ漸次型枠を張り上げ拱頂附近のみ型枠を用ひず叩き付けとした。間狭コンクリートは延長短く清掃に困難なので隣接コンクリート填充の直後入念に洗滌し莖を被ひコンクリートの散入を防いだ。尙間狭コンクリートのみは施工済コンクリートの振動を防ぐため漏斗にて流し込みにせず一旦箱に受入れ然る後填充した。コンクリートは第 1 回に 1, 2, を第 2 回に 3, 4 を, 第 3 回には 5, 6, 7, 8 を 1 日に施工した。1, 2 回のコンクリート施工數量は 42 m³, 3 回は 22 m³ にして 1 日の施工數量としては適當のものであつた。拱架の沈下型枠の締りは 1 を施工し終りたるときに拱頂に於て 2 cm, 2 を打ち終りたるときに 0.5 cm, 3, 4 を施工したるときに更に 1 cm を加へたが、その翌日型枠を検せしに殆ど沈下を認むるに至らなかつた。5, 6, 7, 8 の間狭コンクリート施工後の沈下量も僅少にして計り得ず全沈下量は 3.5 cm に終つた。最後のコンクリート 8 を施工するに當り拱頂に於ける鉄筋継手を檢せしに 3 mm の喰ひ違ひを生じた。

6. 防水工 雨水の浸透に依り鉄筋の腐蝕を防ぐため 32 m 鉄筋拱の上面及拱側内側の下部 15 cm に 3 層式防水工を施すことにした。即ち拱肋上面を清淨にしプライマーを塗りてアスファルトとコンクリートの密着を良好ならしめ、コットンアブリックを敷きて溶解したるアスファルトを塗布した。かくすること 3 層其の上面にモルタル 3 cm を塗りて防水工の毀損を保護したのである。保護モルタルは上面鍍仕上となし防水工との密着を完全ならしむる爲砂、豆砂利を焼きて散布しアスファルトに喰ひ込ましめた。

表-2. 第 3 音更川橋梁工費比較表

工事種類	単位	単 價	径間 10m3 連(拱)と支間 36.4m1 連 (物 桁)		径間 10m3 連(拱)と支間 32m1 連 (拱)		増 減 △ 印は減
			数 量	金 額	数 量	金 額	
根 掘	m ³	2,100	232	487,200	211.3	443,730	△ 43,470
軀体コンクリート	„	16,000	313	5,008,000	212.4	3,398,400	△ 1,609,600
拱	„	19,000	175	3,325,000	196.9	3,741,100	416,100
拱鉄筋	„	89,000			116.5	10,368,500	10,368,500
胸壁鉄筋	„	33,000	34	1,292,000	85.0	3,230,000	1,938,000
拱背填充砂利	„	3,300	152	501,600	461.6	1,523,280	1,021,680
防水工	m ²	3,500			111.0	388,500	388,500
支給品セメント	袋	1,200	2,768	3,321,600	3,605.0	4,326,000	1,004,400
架橋工事費鉸鎖祖立塗工共	連	2,010,000	1	2,010,000			△ 2,010,000
軌道工事材料				1,058,640		639,450	△ 419,190
鋼 鋸 材	連	11,105,300	1	11,105,300			△ 11,105,300
運 送 費	„	2,135,700	1	2,135,700			△ 2,135,700
合 計				30,245,040		28,058,960	△ 2,186,080

7. 結論 本工法にて當初より懸念したるは 32 m 鉄筋拱の拱架の沈下である。拱架の重量は木材 68 m³, 其の他金物を合して 30 t に及びコンクリート施工中に於ける荷重は非常に大なるものとなり、楔の如き簡單なるものにては沈下の整正不可と思ひ之を使用せざることをとした。幸にして沈下は最初豫定せるものと稍一致し良好なる結果を収むることが出来た。一般に本工法の經濟的價値は其の地方的狀況により決定せらるべきものにして遽かに經濟的工法なりとの断定を許さざるものなるが、音更線の如く木材豊富に、地質安山岩にして建造物の基礎として極めて良好なる、又沿線音更川には砂、砂利堆積し工事材料の採集容易なる地方に於ては經濟上有利なるものと断定するを得べし。今後力学的に充分の検討をなし此の種拱橋は大いに利用せらるべく兎に角前例に乏しい足場式架設工法によつて竣功したるは技術者の立場より限りなき満足を感じるものである。本拱橋架設工事は着手以來數度の颶風に襲はれしも何等の蹉跌なく好成績を以て完了したるは先輩諸賢の御指導の賜なることを深く感謝してゐる。