

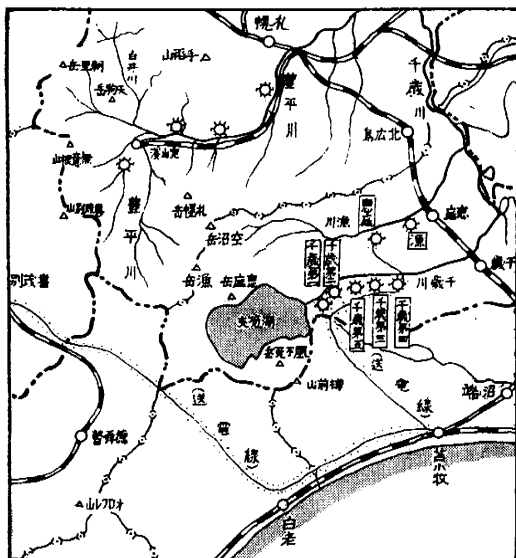
千歳第一発電所水圧鉄管改修工事に就いて

準員 王子製紙苫小牧工場 天 野 容

る。

I. 概 要

王子製紙苫小牧工場に電力を供給する自家用水力発電所8箇所の内、千歳第一発電所(第1図)は明治43年工



図一1 水力発電所位置図

場建設と同時に運転され、爾来45年間を経過し、現在最大使用水量650個、有効落差130m、最大出力20,000KWの発電所であるが、その水圧鉄管6条の内建設当時の水圧鉄管延長304m、4条は長年月使用のため鉄管の肉厚が減少し今後の耐用年数が問題となつたので、昭和25年より下記の如き種々なる調査を行なつた結果、今回旧鉄管を撤去し、全溶接水圧鉄管に取替工事を行なつた。

1. 超音波による鉄管肉厚の測定
2. 顕微鏡組織検査
3. 凹凸記録計による測定
4. X線透過撮影
5. 曲率計による測定
6. 抵抗線歪計による応力測定

これ等の調査方法並びに取替工事に就いて又撤去された鉄管に就いて行つた材料試験の結果の概略を記述す

II. 千歳第一発電所概要

1. 発電所位置 北海道千歳郡千歳町字水明郷
2. 取水河川名 石狩川水系千歳川
3. 認可出力 最大 20,000 KW
常時尖頭 15,000 KW
常時 11,000 KW
4. 貯水池 $293,554 \times 10^3 \text{ m}^3$
調整池 $21.3 \times 10^3 \text{ m}^3$
5. 使用水量 18,087 m^3
6. 有効落差 130 m
7. 既設水圧鉄管概要
 - i. 用材 軟鋼
 - ii. 接合方法 1~4号 下流部鍛マッフ接手
上流部銲接
5号管 鍛接マッフ接手
6号管 溶接フランジ接手
 - iii. 寸法

長 (m)	径 (m)	厚 (mm)
1~4号 304	1.22~1.41	6.4~12.7
5.6号 303	1.55~1.75	9.0~16.0

- iv. 安全装置 1~4号 鋳型伸縮管 4個
5号 伸縮管なし(マッフ接手)
6号 伸縮管 5個
- v. 製作所及び使用開始年月

1~4号 銲接管 石川島	明治43年
鍛接管 マンネスマン	
5号 マンネスマン	大正3年
6号 大阪製鎖	昭和4年

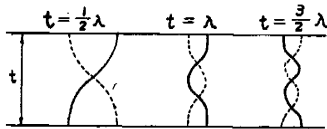
今回取替工事の対象になつた水圧鉄管は1~4号の4条である。

III. 既設水圧鉄管の調査

(この調査は電力中央研究所に委嘱したものである。)

1. 超音波による鉄管肉厚の測定

X カットの水晶板に可変周波真空管発振器によつて交流電圧を加えると X 軸方向に交流と同じ振動数の機械的振動を生ずる。この水晶板を金属板上に乗せると金属板中に水晶板と同じ振動数の縦波を起させる。そして若し振動数を適当に選べば金属板の裏面から反射して来る波と水晶板から送り出す波とが互に相重つて共振状態を生ぜしめる事が出来る。この時水晶板を駆動する真空管の陽極電流も急激に変化するのでこれに依つて周波数を



図—2

知る事が出来る。この時は第2図の如く金属板の厚みが丁度金属板中の縦波の半波長の整数倍になつた訳であ

る。即ち

$$f_n = n \frac{C}{2t} \quad (n=1, 2, 3, \dots)$$

の関係がある。但し f_n は振動数、 C は金属板中の縦波の速度、 t は金属板の厚さである。

即ち板厚 t は

$$t = \frac{C}{2f_1} = \frac{C}{2(f_n - f_{n-1})} = \dots$$

より算出する事が出来る。又 C は次式より求められる。

$$C = \sqrt{\frac{E}{\rho} \frac{(1-\sigma)}{(1+\sigma)(1-2\sigma)}}$$

但し E はヤング率、 ρ は密度、 σ はポアソン比である。尙本測定に使用した周波数は 2.08~2.63 M.C. であつた。

この方法によつて求めた管径、管厚別の最小肉厚に就いて応力値を算定したものが(第1表)である。応力計算に当つては水衝圧を 20% としてある。

第 1 表

	設計厚 (mm)	内 径 (cm)	静 水 頭 (m)	最大水頭 (m)	現 在 平 均 厚 (mm)	最 小 厚 (mm)	平均応力 (kg/cm ²)	最大応力 (kg/cm ²)
鋸 接	6.35	195.0	3.6	3.6	4.75	3.75	80	90
	6.35	139.7	48.8	55.9	4.75	3.75	690	800
	7.94	138.4	48.8	55.9	6.34	5.34	610	680
	7.94	129.5	62.8	71.9	6.34	5.34	780	880
	7.94	129.5	62.8	71.9	6.34	5.34	730	820
	7.94	129.5	66.8	76.6	6.34	5.34	780	880
	9.50	129.5	66.8	76.6	7.90	6.90	630	680
	9.50	129.5	82.5	95.9	7.90	6.90	740	800
	11.10	129.5	82.5	95.9	9.50	8.50	630	670
	11.10	129.5	91.0	106.7	9.50	8.50	730	780
鍛 接	12.70	129.5	91.0	106.7	11.10	10.10	620	660
	12.70	129.5	99.4	116.9	11.10	10.10	680	770
	10.00	122.0	99.4	116.9	9.30	8.30	720	780
	10.00	122.0	129.8	155.8	9.30	8.30	1020	1100

以上の超音波による肉厚測定法は管体の外部より間接に測る方法として大変に良好な結果を得るが管壁の錆は実際には不規則なものであり、水晶板が正しく壁面に密着するか否か、又不整形な面をした内面からの反射波が正しく測定されるか否か等の疑問があり、この測定結果は一応の目安として今後の調査にまつこととした。

2. 顕微鏡組織検査

明治 43 年建設当時敷設された鉄管の材質がどの程度の引張強度を有するか、又炭素の量その他を調査して現在の鋼材規格のどの程度に該当するかを推定するために顕微鏡組織検査を行つた。

金属顕微鏡組織写真は主として炭素、磷、硫黄、鉍、滓等の含有状態、金属組織の粒度、熱処理の状態等を判定するに用いられているが、鉄板の表面は一般に加工中脱炭し、又熱による影響も内部と異なるので、鉄板表面より脱炭の影響のない 0.2 mm 程度を削り取り検鏡を行なつた。

この結果より見ると鍛接管は炭素量は多くて 0.1% 程度であり粒度も鍛接部分以外は普通であるが鍛接部分には若干鍛接のための熱処理により粒度の小さくなつてゐる処も見出された。

又炭素量が 0.1% 程度であるので鍛接管としては充分

使用に耐えるが一般鋼材より強度は小さく、伸びが大きく JIS 規格 SS 34 程度で引張強度 $3,400 \text{ kg/cm}^2$ と推定された。

鉅接管は炭素量 0.2% 程度の普通鋼で SS 41 引張強度 $4,100 \text{ kg/cm}^2$ と推定された。

3. 凹凸記録計による測定

超音波による肉厚測定に代え、直接に腐蝕量を凹凸記録計によつて測定した。これは或る直線上に垂直に立てたボールペンを移動して針の尖端を通して直接紙上に記録せしめる方法であつて管の内外面に就いて行なわれた。その結果を第 2 表に示す。

第 2 表

		内面腐蝕量 (cm)		外面腐蝕量 (cm)		腐蝕量計 (cm)	
		最大	平均	最大	平均	最大	平均
鉅	接	0.53	0.24	0.10	0.03	0.63	0.27
鍛	接	0.48	0.16	0.28	0.12	0.76	0.28

この調査は従来の石膏、油粘土、鉛等で型を取る方法が精度の点、保存の点に難点があるのに比較して割合精度も良く便利なものであつた。

この結果鍛接部分には鉄管により甚だしいアバタ状の腐蝕が残つて居るのが認められた。これは鍛接する場合特に $1,200^\circ\text{C}$ 以上に過熱せられた時に湿度、水素等のために組織に変化を受けアバタ状になつたものと思われ又その箇所が長期間に亘つて腐蝕を受け易い状態になつていゝと思われる。

普通鍛接部の接手効率は 100% (鉅接部では 65~85%, 熔接部では 85~90%) にとつてゐるので、腐蝕に異状のある場合には鍛接継手は危険であり、当発電所の水圧

鉄管と同時代に製作された鍛接管が異常水圧のために破裂事故を生じたのが鍛接部からであると考えられるので鍛接部の調査は精密を要したのである。

4. X 線透過撮影

X 線発生装置は可搬式、重量 80 kg、発生容量 175 KVP ~4 mA なるものを用いた。これは鍛接管の鍛接面に沿つて内部に入り込んだ腐蝕及びその他の欠陥の有無、写真濃度による平均肉厚、最大腐蝕量、腐蝕の分布状態を調べた。これによると鍛接部には 0.2 mm 以上の孔蝕はないと認められた。

5. 曲率計及び抵抗線歪計による測定

曲率計により鉄管各部の曲率を求め、応力状態の資料に供し抵抗線歪計により鉄管の応力状態を実測した。

抵抗線歪計は $\frac{1}{100} \text{ mm}$, 120 Ω 程度の抵抗線を鉄管にはりつけ、鉄管の伸縮により抵抗線の抵抗変化を求めれば鉄管の歪が求められるのであるが、これを測定の結果最大引張応力 $1,970 \text{ kg/cm}^2$ (曲率 25 cm) なる箇所が認められた。

この測定は数多く行なうことが困難であつたので実際応力状態の参考とした。

以上の結果より応力計算表をまとめると第 3 表の如くになつた。

6. 建設当時のコンクリート材料

当時はセメントが極めて高価であつた時代でセメント節約の目的で苫小牧地方で容易に求められる火山灰を利用した。火山灰は苫小牧北方 1 哩地点より求め、乾燥所、篩所、セメント及び石灰との調合所を通じてセメント樽に詰め現場に輸送したのである。

使用された火山灰の分析表は第 4 表、コンクリートの配合は第 5 表の如くである (当時の記録による)。

第 3 表

設計厚 (mm)	内 径 (cm)	静 水 頭 (m)	最大水頭 (m)	現在平均厚 (mm)	最 小 厚 (mm)	平均応力 (kg/cm^2)	局 部 応 力 (kg/cm^2)
6.4	140	48.8	59.9	3.7	0	1060	3180
7.9	138	66.8	76.6	5.2	1.6	960	1830
9.5	130	82.5	95.9	6.8	3.2	910	1370
11.1	130	91.0	106.7	8.4	4.8	820	1150
12.7	130	99.4	116.9	10.0	6.4	760	990
10.0	122	129.8	155.8	7.2	2.4	1320	2380
10.0	122	128.8	155.8	8.4	5.2	1180	1470

第 4 表 火 山 灰 分 析 表 (百分率)

採取番号	湿 気	灼熱減量	硅 酸	可溶硅酸	酸 化 鉄	礬 土	石 灰	苦 土	備 考
第 1 号	2.125	7.510	44.695	35.130	17.480	0.405	0.970	0.410	
第 2 号	3.150	4.910	45.130	30.830	8.610	16.480	0.700	0.022	

採取番号	湿 気	灼熱減量	珪 酸	可溶珪酸	酸 化 鉄	礫 土	石 灰	苦 土	備 考
第 3 号	3.270	6.110	53.250	34.375	4.160	3.420	0.665	0.024	本工事に使用す
第 4 号	3.170	7.240	48.290	34.780	2.130	5.160	0.345	0.051	
第 5 号	2.990	5.790	44.785	27.954	3.825	19.710	0.730	0.032	

第 5 表 コンクリート配合表

配 合 号	セメント	火山灰	石 灰	砂	砕 石	使用箇所
第 1 号	3/4	3/4	1/4	4	8	鉄管留 鉄管留及 び鉄管受 鉄管受
第 2 号	1	1	1/4	6	12	
第 3 号	1/2	1/2	1/4	4	8	

現地では砂利を得る事が困難であつたので支笏湖畔にストクラッシャーを設けて砕石を使用した。尙當時行なわれたコンクリート用モルタル抗張力試験表第 6 表を附記する。

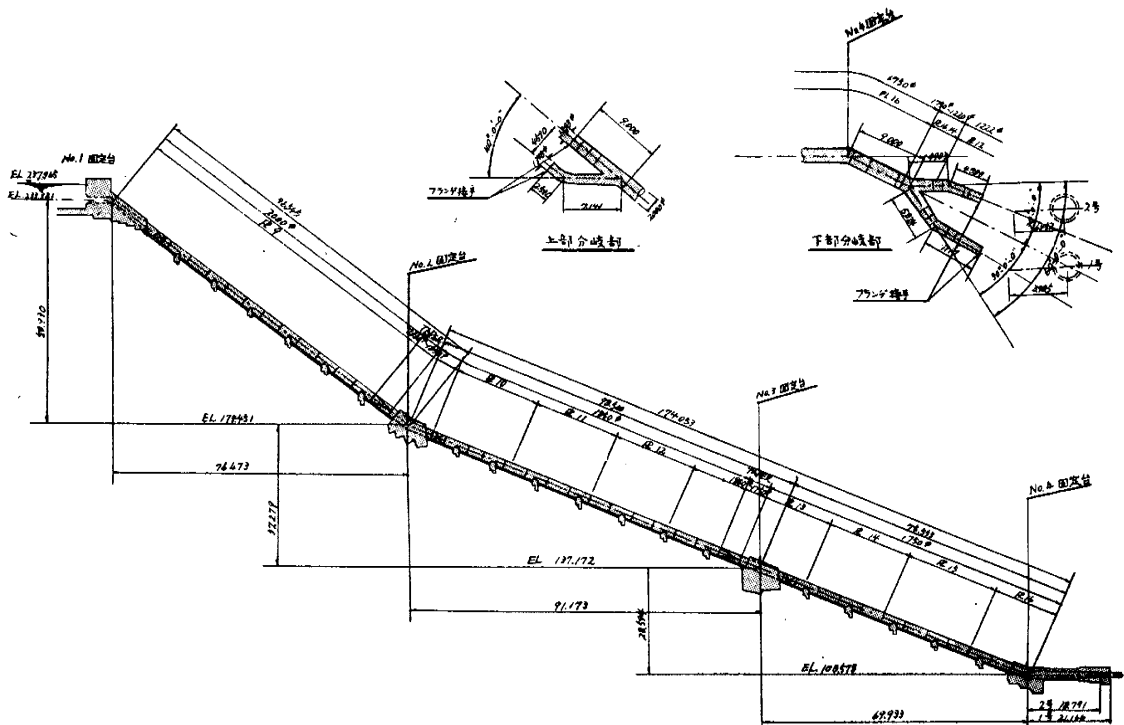
第 6 表

配 合 号	セメント	火山灰	石 灰	砂	浸水 4 週間後の抗張力 #/□
第 1 号	3/4	3/4	1/4	4	210
第 2 号	1	1	1/4	6	100
第 3 号	1/2	1/2	1/4	4	95

IV. 新水圧鉄管敷設工事

以上の如き調査により鉄管の最大応力は鋼材の許容応力を遙かに越え、引張応力の限度に接近している箇所が見受けられ、又継手の構造も長年使用のため漏水を生じその他種々の条件よりもはや危険な状態と推定されたので、異常なる水圧に對する破裂事故を未然に防ぐために今回全面的な取替工事を行なう事となつた。今回対象となつた 4 本の水圧鉄管は出力 2,500 KW のペルトン水車 4 台に連つて居るが、將來の事も考慮に入れて、在来 2 本のものを 1 本にまとめ、水槽水車との取付部分に於いて合流及び分岐させる事とした。又構造は諸種の利点より全溶接管を用いる事とし、工場操業上の都合により昭和 30 年度に 1 号、2 号管、昭和 31 年度に 3 号、4 号管を取替える事とした。

新管 1 号、2 号管は第 3 図に示す如くでありその設計条件は下記の通りである。



図—3 千歳第一発電所水圧鉄管改修工事一般図

1. 最大設計水頭 155.263 m
 2. 最大静水頭 129.387 m
 3. 最大水衝圧水頭 25.876 m
- (但し Allievi 公式による最大圧力上昇率 $\xi = 16.3\%$)
4. 鋼板許容引張応力 1,100 kg/cm²
 5. 鋼板許容剪断応力 935 kg/cm²
 6. 溶接効率

{	工場溶接	90%以下
	現場溶接	85%以下
	直 管	271.598 m
 7. 鋼 管 長

{	1号分岐管	22.612 m
	2号分岐管	17.791 m
 8. 鋼管内径 上部 2,000 m 下部 1,750 m
 9. 鋼 管 厚 上部 9 mm 下部 16 mm
 10. 使用材料 JIS G 3101 SS 41
 11. 鋼管重量 187 ton

尚 3号, 4号管取替工事は本年5月より着手する予定である。

又この水圧鉄管の水槌現象を振動源とする振動に就いて調査の結果第7表の如くになった。

この結果より新水圧鉄管は水槌現象に対しては共振することは無いと思はれた。

第 7 表 (c/s)

		上 部 鉄 管	中央部 鉄 管	下 部 鉄 管
Ovaling vib. の 固 有 振 動	$n=2$	9.0	7.8	7.4
	$n=3$	18.0	17.8	18.7
	$n=4$	29.8	29.6	37.0
Lateral vib. の 固 有 振 動	小支台なし	0.26	0.22	0.41
	小支台あり	10.5	13.9	14.7
水槌現象の振動数		0.86		

然して1号, 2号水圧鉄管取替工事は昭和30年6月着工され, 同年10月完成された。

鉄管の溶接部分は現場溶接, 工場溶接共に内部欠陥に対する検査としてX線透過試験を行なった。この検査規準は JIS 規格鋼材溶接部X線透過検査案に準拠し, 縦接手は2級以上, 円周接手は3級以上に合格しなければならないこととした。

V. 撤去鉄管に対する試験

新管据付後, 撤去された旧管に対してその使用中に測



写真—1 工事前水槽より撮影
(右端2本を撤去新管と取替える)



写真—2 新管敷設後対岸より撮影
(左端の鉄管が新管)

定した調査を更に確かめるために各管厚よりテストピースを選び出し、各種材料試験を行なった。その結果を第

8表以下に示す。

1) 引張試験

第 8 表

試験片番号	管 厚 (mm)	降 伏 点 (kg/mm ²)	引張強度 (kg/mm ²)	伸 び (%)	種 別	備 考
I	6.35	30.4	40.9	16.4	鋸 接 管	伸率以外は SS 34 相当
II	7.94	31.3	43.2	15.7	〃	伸率以外は SS 41 相当
III	9.50	24.3	34.6	27.2	〃	SS 34 相当
IV	11.10	29.5	39.5	23.4	〃	SS 34 相当
V	12.70	30.7	49.3	13.6	〃	伸率以外は SS 41 相当
VI	10.00	25.5	34.2	25.6	鍛 接 管	SS 34 相当
VII	10.00	25.0	33.4	24.0	〃	SS 34 相当

2) 曲げ試験

として押し曲げ法により行つた。

曲げ試験片は 250 mm×50 mm に仕上げ曲げ角度 180°

第 9 表

試験片番号	I	II	III	IV	V	VI	VII
曲 げ 角 度	180°	180°	180°	180°	180°	180°	—
成 績	良	ヘアークラック有	ヘアークラック有	ヘアークラック有	45° クラック入	良	—

3) 硬度試験

試験片には引張及び衝撃試験片を使用しロックウェル B スケールにより測定した。

第 10 表

試験片番号	I	II	III	IV	V	VI	VII
ロックウェル 硬 度 平 均	84	88	64	78	87	72	66
ブリネル 硬度換算値	160	175	113	142	171	128	112

4) 衝撃試験

衝撃試験は試験片 V に就いてのみ行つたが U ノッチシャルビーの衝撃値の平均は 7.9 kg・m/cm² であつた。

5) 化学分析

第 11 表

試験片番号	I	II	III	IV	V	VI
C	0.13	0.17	0.09	0.05	0.30	0.10
S _t	0.031	0.036	0.026	0.026	0.031	0.021
M _n	0.44	0.38	0.38	0.40	0.40	0.46
P	0.079	0.063	0.013	0.063	0.078	0.013
S	0.034	0.044	0.043	0.011	0.032	0.021

以上の試験結果を見ると試験片番号 I, II, V. は伸び

が非常に悪い。特に V が悪いのであるがこれは曲げ試験の結果にも現われている。

結局 III, IV, VI, VII は SS 34 に相当しているが他はあまり良い鋼材ではないと思われる。

硬度は JIS と比較すれば I, II, V は幾分硬いが他は大体妥当な値である。

6) 撤去鉄管の肉厚実測

肉厚を測定するのに鉄状パスを作成し、解体鉄管の小口 500 mm 附近に就いて銹腐蝕を受けた箇所を測定を行つた結果、最大腐蝕量は第 12 表の如くであつた。

第 12 表

	鉄 接 管						鍛接管
設計管厚 (mm)	6.35	7.94	9.50	11.10	12.70	10.00	
最大腐蝕量 (mm)	3.1	3.4	3.95	3.0	3.15	3.95	

VI. 結 言

明治 43 年より使用せられていた水圧鉄管を取替前後に於いて種々調査した結果が上記の如くである。

腐蝕の度合いが 45 年間としては比較的少ないのは水源である支笏湖の水の清澄であること、化学的に中性なること、製作保守良好なることに起因していると思われる。

但しフランジ接手及びマツプ接手構造が長年の間に漏

水を生じ、又ダイヤフラム型伸縮管にも不備な点があり更に鍛接法による完全接合は金属組織的には不可能であり顕微鏡組織検査についても不完全接合が見出されている。腐蝕の度合も実測の結果は許容応力を超過している箇所

が局部的に多数見出された。

建設当時の鉄管が今後何年の耐用年数を有するかを断定することは至難であるが、今回の調査により取替工事を行つたのは時期を得たものと認められるのである。

注入コンクリート施工例について

準員 旭川鉄道管理局 南部 隆 一
競 清 男

緒 言

新しい技術を採用してその特質をいかし経営の合理化、輸送の安全確保に資する事は、吾々国鉄に務めて居ります土木技術者の使命であると考えて居ります。

これから述べる、注入コンクリート工法は現在では決して新しい技術ではありませんが、実際の施行はそれほど普及しておりませんようで、勿論吾々旭川鉄道管理局としては、本年度初めて施行されたものなので、その事例を2, 3紹介致しまして御参考に供したいと思ひます。

本年度施行致しました件数は9件で、橋梁躯体補強、根固め、護岸擁壁、危険岩石の防護工事等であります。このうち

1. 常呂能取間常呂川橋梁補強工事
2. 間寒別雄信内間愛冠川拱橋改築工事
3. 名寄智東間名寄川橋梁第2橋脚災害復旧工事
4. 天幕中越間53k 200 m 附近法面防護工事

について御紹介致します。

なお、旭川鉄道管理局で実施致しました。注入コンクリートは、イントルージョン・エイドは使用しませんで、フライアッシュ・ボゾリス・アルミ粉末を使用致しました。

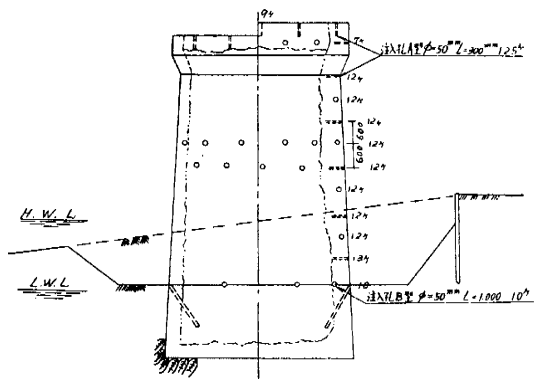
1. 常呂能取間常呂川橋梁補強工事

A 経 過

本橋梁は、昭和11年10月湧網東線として開通したものである。中湧別起点60k 269m 06に位置し、オホク海に注ぐ河口に架かる曲線橋梁である。

昭和29年5月工作物変状再調査により、その異状の急進が認められた。即ち全躯体とも外周部表面は毛状亀裂を生じ、粗骨材の浮出しが見受けられた。外部よりの

打音に対しては、大鼓音を発した。第3橋脚・第4橋脚はその変状が特に甚だしく、桁座頂部(沓部)は亀裂して、完全に縁切れし、ハンマーの打撃で容易に欠壊し又橋脚上面中心部に於ては、タガネが容易に恰も板に釘を打つ如くであつた。



配合表

	C	F	P	AI	W
重量比	4	1	0.23%	0.01%	45%
1471kg/m ³	648kg	212kg	2120g	848g	477kg

図-1 常呂能取間常呂川橋梁橋脚補強工事略図

結論として、躯体外皮は悪質なコンクリートで被い、内部は粗骨材の空積の状態であり(空隙率10%), 辛じて外皮によつて原形を保持している。加えて第5橋脚は水中部に欠損部があるので、25k/Hに速度制限して、国鉄技術研究所、特殊設計室及び北大工学部の御指導により、セメントミルク注入補強工事を施工する事となつた。

B 施 工

(1) 注 入 孔

厚さ約30cm程度のコンクリート外皮に注入孔を穿ち、セメントミルクを注入するのであるが、LWLの上部を