

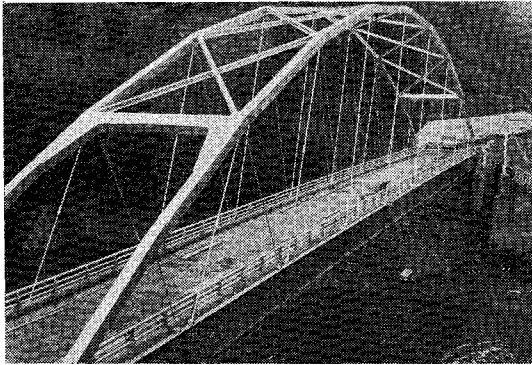
ニールセン系橋・境川橋工事報告

関野 昌丈*・来島 武**・国場 正夫**

1. ま え が き

境川橋は、相模湖へ流れ込む桂川が県道日連上野原停車場線を横切る位置——左岸側山梨県上野原町、右岸側神奈川県藤野町入会——に 41 年度国庫補助橋梁整備事業として工事中の斜吊材にロッドを使用したニールセン系の橋である。橋長 99 m, 支間 98 m, 幅員 6 m の 2 等橋で、昭和 41 年 6 月製作開始、昭和 42 年 3 月末完成したものである。

写真—1 架橋完了後の境川橋



最近、各地に架設され始めた斜吊材をもったアーチ橋を総称してニールセン橋と呼んでいるが、内的高次不静的構造であるから構造物全体としての安全度は高く、従来の鉛直腹材をもつアーチ系橋梁よりも優れている点が多い。力学的には、むしろトラス構造に近い。これまでわが国で架設されたこの種橋梁の斜材は、

* 正会員 神奈川県道路建設課橋梁係長

** 正会員 三菱重工(株)横浜造船所鉄構部橋梁課

パイプ構造であるが、引張力を受けることから、ロープあるいは高強度のロッドを使用して、ますます経済的で軽快な構造の設計が可能と思われる。ここに、斜吊材にロッドを採用した一連の実験などを含め、工事の概要を報告する。

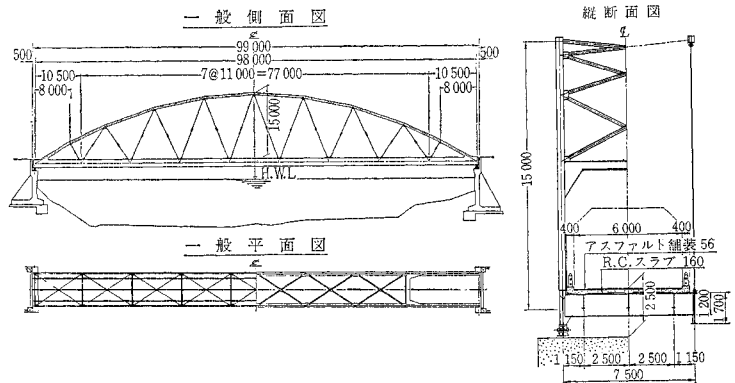
2. 構造の概要

主要諸元を図—1 に示す。わが国でのこれまでの実施例と構造的に相違しているところは、

- ① 斜吊材にロッドを使用している。
- ② 斜吊材全部をワーレン状に組んでいる。
- ③ 斜吊材に圧縮力が働かぬよう、端格点にコンクリートブロックを設けている。

の三点である。使用部材断面は、斜材について後述するが、上弦材・補剛桁・床組など、通常のランガー橋やトラス橋などと変わらない。すなわち、上弦材および橋門構は箱型、その他は I 断面を使用した。部材材質は、経済的設計の見地から、できるだけ 50 キロ鋼を使用し、鋼重の軽減を計った。幅員がせまい上に、2 等橋という鋼重軽減に不利な条件であったが、幸い支間が大きいこと(したがって大格間長)から、主構はもとより床組構造

図—1 一般図



も 50 キロ鋼を用いて、製作上の困難をとまなうことなくスムーズに断面決定ができた。現場継手は、補剛桁に高力ボルト、他は鋸を用いた。

3. 設 計

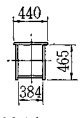

(1) 計 算 方 法

主構の部材力およびたわみ影響線を求めるのに、変形法を用いた一般の平面骨組構造の応力解析に関する電子計算機のプログラムを使用した。その詳細は、これまでに発表された文献⁷⁾などを参照されたい。変形法の場合、未知量は、各剛結合節点で3個、両支点で3個、合計54個となる。データとして、節点の座標・結合条件および部材の性質(表-1)を与えればよい。斜吊材が剛性のないロッドで、格点との取付けが完全なピン構造であること、かつ上弦材も連続した大きい剛度の部材なので、これにI(断面2次モーメント)をインプットし

表-1 部材の性質

部 材	性 質	断 面 積 (m ²)	断面二次モーメント (m ⁴)
上 弦 材		0.0316	0.0011
斜 吊 材		0.0024	
補剛桁	1-3 17-19	0.0282	0.0112
	3-17	0.0257	0.0096

表-2 部材力および断面

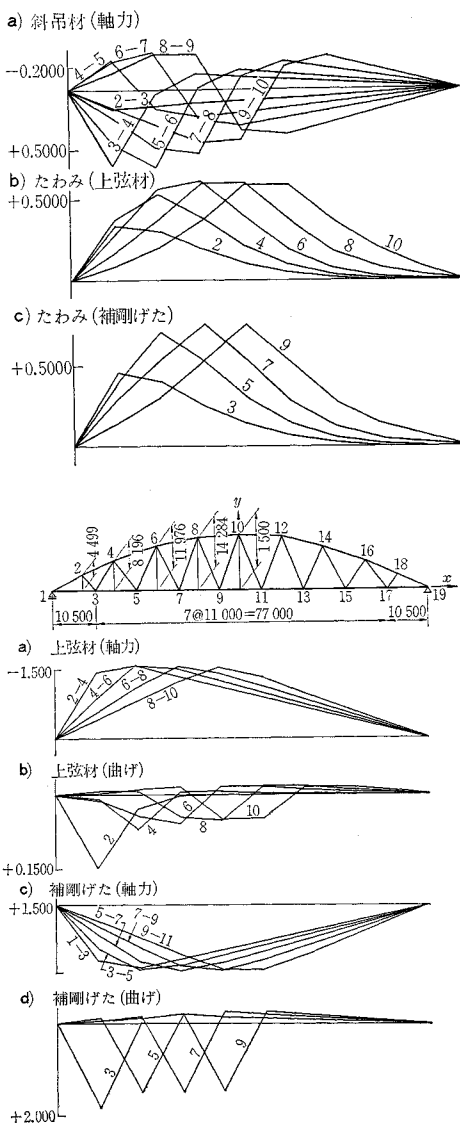
部材名	格点	応力度最大時部材力	断 面 力			断 面
			d	l+i	Σ	
上 弦 材	2	N	-265.1	-84.0	-349.1	 SM50A 1-P1 440×18 2- " 465×18 1- " 384×18 Ag=315.7
		M	7.194	3.552	10.746	
	4	N	-265.1	-85.7	-350.8	
		M	1.436	1.121	2.557	
	6	N	-262.9	-86.3	-349.2	
		M	1.858	0.948	2.806	
	8	N	-252.3	-83.6	-335.9	
		M	0.981	0.789	1.770	
	10	N	-246.9	-82.1	-329.0	
		M	0.995	0.826	1.821	
補 剛 桁	3	N	229.1	60.6	289.7	 SM50A 3.に対し 1-P1 260×12 1- " 1700×11 1- " 320×20 Ag=282.2 5.7.9.に対し 1-P1 260×12 1- " 1700×11 1- " 320×12 Ag=256.6
		M	67.4	37.6	105.0	
	5	N	235.3	76.8	312.1	
		M	21.0	20.7	41.7	
	7	N	239.3	78.3	317.6	
		M	11.6	17.1	28.7	
	9	N	239.9	78.8	318.7	
		M	10.2	16.8	27.0	
	斜 吊 材	2~3	N	23.176	7.804	
3~4		"	8.414	14.118	22.532	
4~5		"	21.233	11.587	32.820	
5~6		"	20.850	18.006	38.856	
6~7		"	18.020	18.923	31.943	
7~8		"	19.388	18.133	37.521	
材	8~9	"	17.746	16.044	33.790	
	9~10	"	18.410	17.234	35.644	

曲げの影響まで考慮した。手計算にてはどうい望めぬ計算仮定である。上弦材の骨組線を直線で結んでいるが、曲げモーメントまで考えているから、従来のトラスドラッカーと同じような考え方でトラスローゼと呼べるかも知れない。結局、曲げによる影響は上弦材に対してだけのもので、端部で10%、その他の位置で5%程度の付加応力であったから、断面決定には以上のことを考慮した。

(2) 設 計 計 算

死荷重(3.00 t/m)・線荷重(10.4 t)・分布荷重(0.69 t/m)と影響線から部材力を求め、断面を決定した(表-2)。

図-2 スケルトンと影響線



上弦材の座屈は、面内に関して、ロッドという点を考慮し格間長の20%増で考え、面外は従来どおりとした。たわみ影響線は正領域のみで、曲げ剛性は $(\delta/l=1/3200)$ は、これまでのアーチ系のもの1/2000(満載)程度にくらべて格段に優れている。なお、一次固有振動数が1.64c/sと高いのは、この点を裏書している。斜吊材に圧縮を生ぜしめる懸念のある温度変化では、上弦材が桁よりも15°C高温という場合の温度応力を求めたが、3-4斜材は $N_{\text{温}}=-1.682t$ に死荷重(表-2参照)を加え結局圧縮力を受けないことがわかった。コンクリート対重は金具とも1格点4.98tで、3,17点に設置されている。これによって、3-4斜材に約3.3tの引張力を生ぜしめているが、この軸力を全格点付加死荷重(床版を厚くする)で得ようとする20.5

写真-2 コンクリートブロック

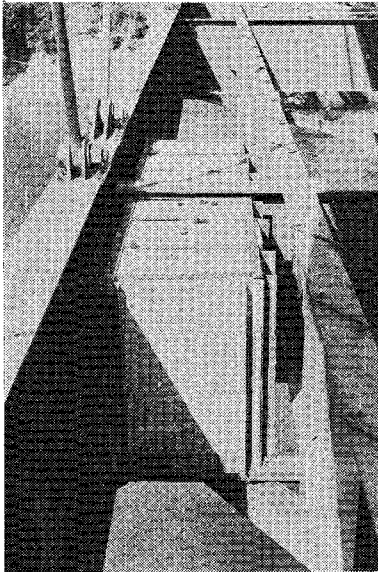


図-3 試験片寸法および試験項目

試験片図	試験項目	摘要
	機械的試験 (引張, 曲げ, シャルピー) 硬度試験	圧接条件 温度 1150°C 時間 3min 圧力 3kg/cm ² アイバー部 と直棒部は 圧接後焼準 し、ねじ切り (ウイット 並2級)とする。
	引張試験	No.5-1 } 引張試験 2 } No.5-3 } 4 } 疲労試験 : } 5 } 8 }
		880°C 1h 炉冷 2h 空冷

t 必要となって、各部材力におよぼす影響は大きい。これに反し、端格点のコンクリートでは上記の「ロス」もほとんど問題なく、対重の効果は大きいといえる。

(3) 斜吊材についての実験

斜吊材に最近開発されたハイテンタイロッド、または、SM 50 B 棒(丸)鋼の使用を考え、これを実験対象とした。

a) ハイテンロッド

この丸鋼は、現在用いられている高張力鋼と同じく、Mn-Si系に炭素の含有量を若干多くした中炭素鋼である。

表-3 化学成分(ハイテンロッド)

%	C	Si	Mn	P	S	Cu
分析結果	0.33	0.48	1.87	0.025	0.018	0.04
規定値	0.37以下	0.55以下	1.80以下	0.040以下	0.040以下	

供試材は入手の都合上 32φで、試験内容、結果など表に示す。この丸鋼の炭素当量は約0.65であるので、溶接の施工ができない。アイバーと直棒の接合にガス圧接を用いた。橋梁主構造に対するガス圧接工法は、実施例がない。表の試験結果は、シャルピー値が小さい以外、すべて良好なデータを示している。衝撃値はどのくらいが適当なのか、検討すべきで点である。200万回の疲労強度はほぼ11kg/mm²であったが、妥当な値と思

表-4 機械的試験データ

番号	径(mm)	面積(mm ²)	降伏点		引張強さ		伸び(%)	曲げ	衝撃値(kg-m)	切断部
			kg	(kg/mm ²)	(kg)	(kg/mm ²)				
規定値				45		70	20	2dで90°		
No. 1-1	24.98	489.8	25300	52	40750	83	21	良	1.1	
-2	"	"	25100	51	40400	83	21	"	0.8	
No. 2-1	24.99	490.0	24250	50	38700	79	22	"	1.6	母材
-2	"	"	24500	50	38600	79	23	"	1.7	"
No. 3	32	804.0	39000	49	62800	78				首下
No. 4	"	620.0	38600	62	57600	93				ねじ
No. 5-1	"	"	34000	55	58000	94				"
-2	"	"	37600	61	58400	94				"

図-4 ピッカース硬さ試験

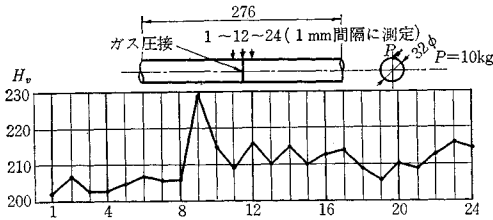


図-5 S-N 曲線 (片側引張)

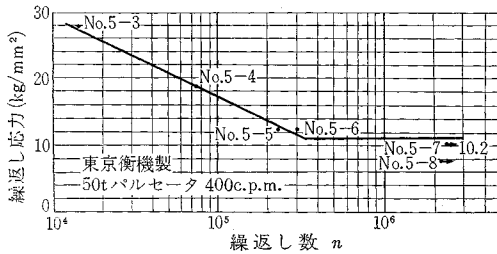
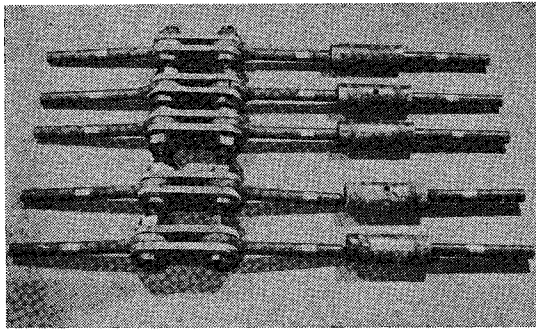


写真-3 疲労試験後の試験体



われる⁴⁾。ロッドの強度をいたずらに高めても、吊材の疲労限はそれにつれて向上しない。すなわち吊材を構成するアイバーの寸法・形状・構造、およびねじの精度で

表-6 機械的試験データ

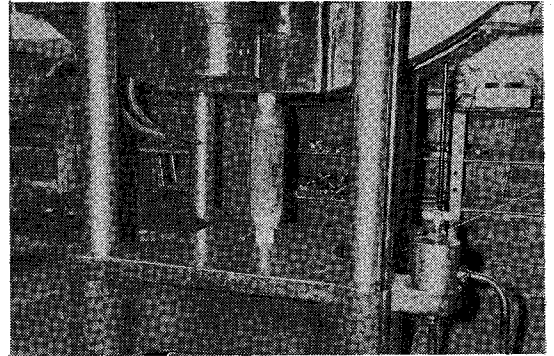
仕様	符号	試験	径	面積	降伏点		引張強さ		伸び	曲げ	衝撃 kg·m		切断部	試験片図	摘要
					(kg)	(kg/mm²)	(kg)	(kg/mm²)			0℃	-20℃			
素材	規定値					32以上	50以上 62以下	23以上	1.5d 180°						
	A	13.96	153.1	5540	36	8800	58	34	良	3.8; 4.6	3.0; 2.7				電気抵抗炉 (270kW) 使用。
B	"	"	"	6000	39	8960	59	34	"	5.1; 5.6	2.9; 2.2				
溶接	溶接のまま	AW	13.87	151.0	6150	41	8060	53	23				溶接		焼準アーチ ハイテンロッドの場合と 同じ。
	溶接後	AWR	13.98	153.5	5250	34	7580	49 [※]	25				"		
	焼鈍	BWR	"	"	5350	35	7500	49 [※]	28				"		
	溶接後	AWN	13.94	152.6	5160	34	7160	47 [※]	25	良	11.4 15.0	7.2 11.0	"		
焼準	焼準	BWN	"	"	5350	35	7310	48 [※]	26	"	16.4 24.0	9.0 17.0	"		620℃ 2hr ↓ 炉冷
	溶接後焼準	C1	55	2299	80000	35	113200	49 [※]					"		
		2	"	2307	79000	34	120000	52					"		
ターンバックル	D1	55	2040				118000	58					ねじ		
焼入焼戻	2	"	"	70000	34	117200	58						"		※強度不足

*** 旧 JIS 規格で、新 JIS では削除された。

表-5 化学成分 (SM 50 B 丸鋼)

%	C	Si	Mn	P	S	Cu
ミルシート	0.16	0.43	1.42	0.027	0.023	0.06
規定値	0.18以下	0.55以下	1.50以下	0.040以下	0.040以下	

写真-4 引張試験中のターンバックル



決まると思う。

b) SM 50 B の棒 (丸) 鋼***

供試材は 55φであった。同じ SM 50 B の材質でも、鋼板と丸鋼では、機械的性質を始め溶接性や加工性も異なるので、径の太くなるにつれいっそう慎重な取り扱いが必要である。表に示す結果から、二、三特記する。

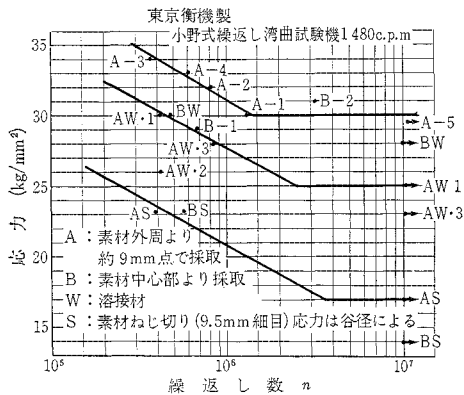
① 径の中心部の試験片が比較的良好な機械的性質を示す。

② 鋼板の突合せ溶接とちがって、丸鋼の溶接ならびに熱処理で、溶着部の強度が規定値より小さい。

③ くり返し回転曲げ試験結果と文献^{4),5)} から、SM 50 B の吊材の引張疲労限も 11 kg/mm² と判断できる。

以上、2 ケースの実験で、ガス圧接のハイテンロッドは将来にゆずり、本橋では SM 50 B の丸鋼を採用した。

図-6 S-N 曲線 (くり返し回転曲げ)



溶接施工面で、
 ⑩ 母材より高い強度の溶接棒を用いる、⑪ 溶着部温度の低下を待って積層する、のいずれかの配慮が必要である。熱処理は焼鈍程度ぜひ施工したい。

(4) 構造の詳細

実験結果から、最終的な斜吊材構造を図-7に示す。上弦材の上突縁と腹板の溶接は、片側隅肉で十分との考えもあるが、多少でも曲げを受けるし、板も18mmと厚いので、V型溶接とした。

アイバーをU型として、ガセットを1枚差し込む構造とすれば、格点は比較的単純となる。しかし、鍛造加工が困難となるので避けた。なお、断面寸法の決定は現行仕方書によって十分である。斜吊材の取付部は完全なピン構造なので、ガセット板が非常に小さくなり、全体として軽快さを与えている。また、斜吊材のほぼ中央に緊張のためターンバックルを入れているが、外観上、さほど目立たないようである。斜吊材および取付部は、今後とも研究のうえ改良を加えたい。補剛桁では、全断面が引張力を受けるので、高力ボルトによる添接が有効であった。

鋼重を表-7に示す。本橋の場合 310 kg/m² であるが、300 kg/m² 程度までの設計は可能と思われる。

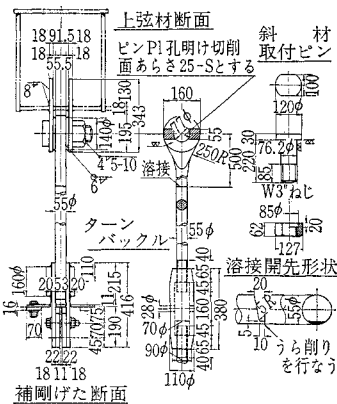
4. 製作

斜材および取付部以外の製作は、通常のランゲーター

表-7 鋼重表

部材	鋼重 (kg)	摘要
上補斜横綑上	55 937 (54 488)	() 内は SM 50 を示す
材桁材	52 441 (41 881)	
材桁材	11 374 (9 768)	
材桁材	9 384 (8 683)	
材桁材	28 884 (26 848)	
横構	6 677	
門構	11 199	
シユ	5 061	
	4 123	
Σ	185 080 (141 668)	310 kg/m ²
コンクリートブロックわく	2 997	高欄はアルミニウム製
伸縮縫手	1 547	
排水装置	453	
高欄		
Σ	4 997	
総計	190 077 (141 668)	

図-7 斜吊材取付詳細図



ラスと変わらないから省略する。斜材の製作は、鍛造・溶接・熱処理・ねじ切りの工程にわけられる。アイバーと直棒部用 2 種類の径の丸鋼 (SM 50 B) 入手後、最終ねじ切りまで約 1 月余りであった。鍛造部は黒皮を落とし、ダイチェック (染色浸透探傷法) によって、傷の有無を調べた。溶接は図-7で示す開先で、LB 52 の溶接棒を用い、溶着部の温度低下を待って積層するよう施工した。溶接後、実験の場合と同じく応力除去の焼鈍を行なったが、ロッドを炉中に配置する際、長物ゆえ支持台を十分置いて、ひずみの起こらぬように心掛けた。

焼鈍後は、サンドブラストを掛けねじ切り工程に入る。切削ねじの精度はウイト細目 2 級と規定した。仮組は、架設のためなるべく実橋なみに鉛直にして行なうのが望ましい。しかし、剛性のない斜吊材では困難がともなうから、つぎの 4 ケースについてべつべつに行なった。

- ① 補剛桁+床組+下横構
- ②, ③ 上下流側主構+一部の斜吊材
- ④ 上弦材+上横構+橋門構

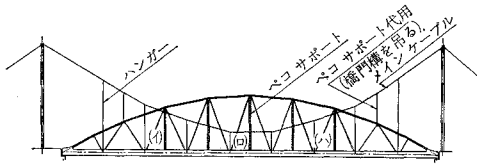
5. 架設

架設はケーブルエレクトション工法を採用した。この工法では、パイプ構造の場合と異なって、上弦材および吊材の自重によって、架設時の斜吊材に生じる圧縮力に対し、つぎのうちいずれかの対策が必要であった。

- ① 上弦材を吊って斜材に力が働かぬようにする。
- ② ベコサポートなどで上弦材をささえる。
- ③ ①と②の併用。

①の方法はケーブルタワーの高さが高くなって不利なので、橋門構を通して上弦材を吊り、その他のところは、ベコを使用する③の方法を採用した(図-8)。

図-6 架設要領



全部材の建込み完了後、つぎの架設工程にしたがった。

- (1) 吊材をターンバックルによって手締める。
- (2) 3ヵ所のペコ(イ、ロ、ハ)を除き、さらに手締める。これを無応力状態の構造系とみなす。
- (3) 主ケーブルをゆるめ、残りのペコを撤去する。

部材の建込みから舗装施工までの各段階で、全吊材および一部の部材表面に所定の標点距離で打ち込まれたそれぞれ2個の鋼球(1.5mm径)に対するコンタクトゲージの読みから、応力チェックを行なった。補剛桁添接用高力ボルトの締付は、すべてトルクレンチを使用した。

6. あとがき

斜吊材にロッドを用いたニールセン橋の実施例を、ロッドに関する実験を含め報告した。本橋では、斜吊材に

生ずる圧縮力を、対重によって除去する方法を採っているが、いささか大架装な感もしないでもない。スウェーデンでは、圧縮力が働いても、ロッドをDummy部材と考え、気にかけてぬそうである。これに関し、端部のアーチ骨組線を少し工夫して、全斜吊材に引張力を働かせることも可能である。

今後、なお検討すべき点もあるが、ロッドの寸法や疲労強度さらに架設工法などからみて、スパン140~150mぐらいいまでは、経済的に、ロッドを用いたニールセン橋を計画できるように思う。なお本橋の完成後振動実験を予定しているが、いずれ機会をみて報告したい。

本橋計画に当たり建設省道路局のご理解ならびに土木研究所 村上永一 所長、名古屋大学 成岡昌夫 教授より助言を得たことを記して感謝します。

参考文献

- 1) 児島・成岡：Nielsen System 橋，土木学会誌，49.4(昭和39.4)
- 2) 猪口・永井・戸倉・児島・成岡：阿保橋の設計，土木学会誌，50.6(昭和40.6)
- 3) 瀬田・頼川：新葛西橋主径間の設計について，土木技術，18.9(昭和38.9)
- 4) 西村：ピン結合鉄道トラス橋の変状とその対策，鉄研報告，No. 483, July 1965
- 5) 鉄筋のガス圧接編集委員会編：鉄筋のガス圧接

(1967.2.18・受付)

新しい軟弱地盤処理工法

日本道路公団理事 藤森謙一・日本道路公団理事 内田襄編著・B5判/460頁 上製 定価 3,400 円230円

- 現場ですぐ役立つ軟弱地盤処理工法の設計と施工
- 新しい軟弱地盤処理工法を初めて体系づけた技術書

●本書の特色

本書を研究することによって

1. 各種軟弱地盤処理工法の選定が可能
2. 各種軟弱地盤処理工法の設計と施工が可能
3. 特殊な軟弱地盤処理工法の施工法がわかる

■ 主要目次

第1章 軟弱地盤の調査	工法	(2) 高揚程ウエルポイント	4.1.4 アクリル系
第2章 軟弱地盤処理工法の計画	3.2.2 ベーパードレーン	3.4.2 バキュームテーブウエルおよびジューメンズウエル	4.1.5 クロムリゲン系
第1節 軟弱地盤と構造物との関係	第3節 振動等を利用した締め固め	第5節 電気化学的処理工法	4.1.6 真空グラウト工法
第2節 設計	3.3.1 サンドコンパクションバイアル工法(バーカッション式)	第6節 置換工法	第2節 石灰工法
第3節 各工法の効果および工法の選定	3.3.2 サンドコンパクションバイアル工法(振動式)	3.6.2 掘削置換工法	第3節 加熱安定工法
第3章 軟弱地盤処理工法	3.3.3 バイフロワレーション工法	3.6.3 すべり置換工法	第5章 軟弱地盤処理工法の実施例
第1節 載荷重工法	3.3.4 十字パイロ工法	3.6.4 爆破置換工法	第1節 国道30号線莊内跨線橋工事
3.1.1 載荷重工法	第4節 排水工法	第7節 超軟弱地盤の表層処理工法	第2節 大垣地区
3.1.2 真空工法	3.4.1 ウエルポイント	第4章 その他の地盤の改良工法	第3節 八郎潟
第2節 脱水工法	(1) ウエルポイント	第1節 薬液注入工法	第4節 泥炭地
3.2.1 サンドドレーン		4.1.1 L.W(不安定水ガラス)工法	第5節 名古屋港高潮防波堤
(1) サンドドレーン工法		4.1.2 ハイドロク工法	第6節 東海道新幹線
(2) オランダ式サンドドレーン		4.1.3 ケミセクト工法	第7節 公団住宅
			第6章 軟弱地盤処理用機械

新しい仮設工事の設計と施工

八島忠編著 B5版 530頁 上製
図版・写真版 800個以上 定価 3,600円 送料 150円

新しい土留工法

藤森謙一・内田襄編 B5版 440頁 上製
図版・写真版 560個以上 定価 3,400円 送料 200円

新しい基礎工法の設計

八島忠・中島武編 B5版 421頁 上製
図版・写真版 450個以上 定価 2,600円 送料 130円

近代図書株式会社

東京都千代田区九段北1の6の7
電話 (263)3871・3872 (261)5818・5819 振替 東京23801番