

イラクにおける PC 橋工事の管理と試験

増 田 博 善*
 長 崎 文 鷹**
 磯 金 秀 俊*

1. はじめに

産油国で知られる中近東諸国での海外建設工事の量は近年著しい増加の傾向を示している。中でも特にアラブ諸国の新しいリーダーたらしめるイラク共和国での工事量は急増しており、昭和 54 年度の日本企業の海外建設工事受注高の約 40% 近くを占めるまでにいたっている。

イラクにおける PC 橋の施工も、昭和 49 年より(株)大林組が施工に取りかかった、バグダッド市内のチグリス川に架かるノースゲート橋をはじめ、現在工事中のイラク高速道路 1 号線まで数多くの実績がある。

これらの地域では夏季の温度が 50°C を超す酷暑であり、年間を通じて降雨量も少なく、乾燥した気象条件(表-1 参照)である。

現地での工事は、英国が旧宗主国である関係上、設計が BS 規格でなされていたり、BS に準拠して行われていることが多い。当然のことではあるが、日本での工事とは異なる管理が要求される。

当社はバグダッド市内のチグリス川にかかる PC 橋の

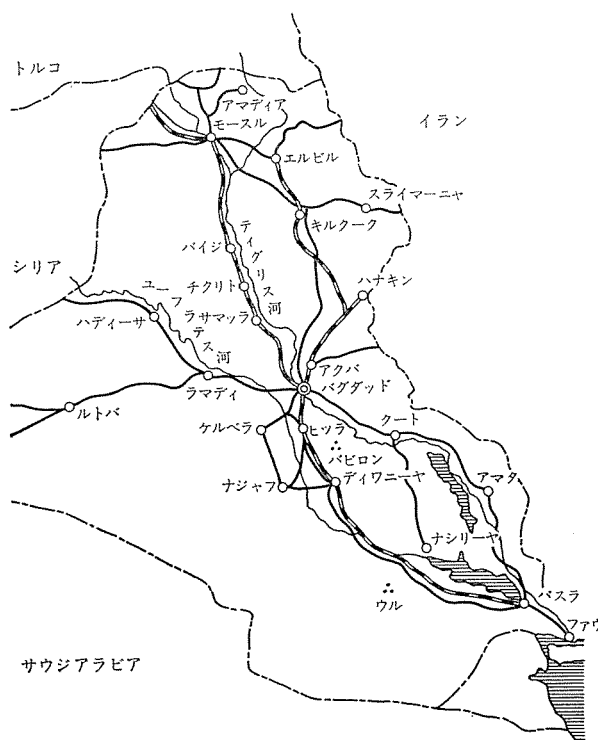


図-1

表-1 バグダッドの気象条件

		1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月	年 間	観測期間
気 温 (℃)	最高温度	25.0	30.0	36.1	43.3	44.6	48.3	50.0	50.2	47.2	42.0	36.7	26.7	50.2	1923—1974
	平均値	16.0	18.7	22.7	28.7	35.8	41.0	43.4	43.3	39.8	33.4	24.6	17.6	30.4	1941—1970
	最高	10.0	12.3	16.3	22.0	28.4	33.0	34.8	34.4	30.6	24.6	17.1	11.0	22.9	1941—1970
	最低	4.3	5.9	9.6	14.6	20.0	23.4	25.3	24.6	21.0	16.2	10.3	5.2	15.0	1941—1970
土の温度 (℃)	最低温度	−8.5	−6.0	−3.3	1.2	10.0	13.5	16.6	17.8	10.7	3.5	−3.0	−6.7	−8.5	1923—1974
	地表面下 5 cm	7.3	9.2	14.8	20.6	27.0	31.3	33.3	33.3	29.9	23.4	15.1	8.8	1970—1975	
	9 時	12.9	15.6	22.4	28.3	34.9	39.8	41.1	40.7	37.5	30.7	21.0	13.7		
	15 時	13.3	13.9	18.4	22.6	28.0	32.3	34.1	35.0	33.3	28.7	22.3	15.9		
相対湿度 (%)	9 時	13.3	13.8	18.4	22.6	27.0	32.2	34.1	34.9	33.2	28.6	22.2	15.9		
	6 時	84	77	70	63	48	34	32	35	40	50	71	83	57	1941—1970
	9 時	79	70	60	43	34	25	26	27	30	38	59	78	47	1937—1952
	15 時	50	39	34	29	19	13	13	13	15	22	38	51	28	1941—1970
月間降雨量 (mm)	平均	71	63	56	47	33	24	23	24	28	36	56	71	44	1937—1952
	24時間最高	25.3	24.4	22.7	22.3	8.1	0.1	0	0	0.3	3.7	17.1	22.9	146.9	1941—1970
日照時間 (Hr)		35	64	56	44	20	1	12	1	16	53	39	64		1937—1952
総日照熱量 (cal/cm ² /日)		6.5	7.3	8.1	9.0	10.6	12.7	12.9	12.2	11.4	9.4	7.7	6.0		1971—1975
雲 量		343	439	576	672	779	864	844	785	669	524	386	315	7 195	1967—1975
風速 (15m 高) (m/sec)		1.3	1.1	1.1	1.1	0.6	0.2	0.2	0.1	0.1	0.4	0.9	1.1	0.7	1941—1970
蒸発量 (m/m) (classAパン)		3.1	3.6	3.9	3.8	3.8	4.2	4.5	4.0	3.3	2.8	2.6	2.7	3.5	1941—1970
		73.9	99.3	184.5	261.3	403.8	522.8	600.5	533.0	370.5	247.0	134.6	61.4	3 492.6	1967—1974

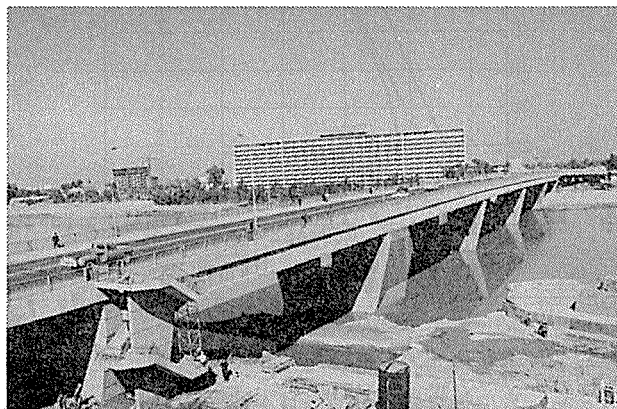
* ビー・エス・コンクリート (株) 工務部

** ビー・エス・コンクリート (株) 技術部

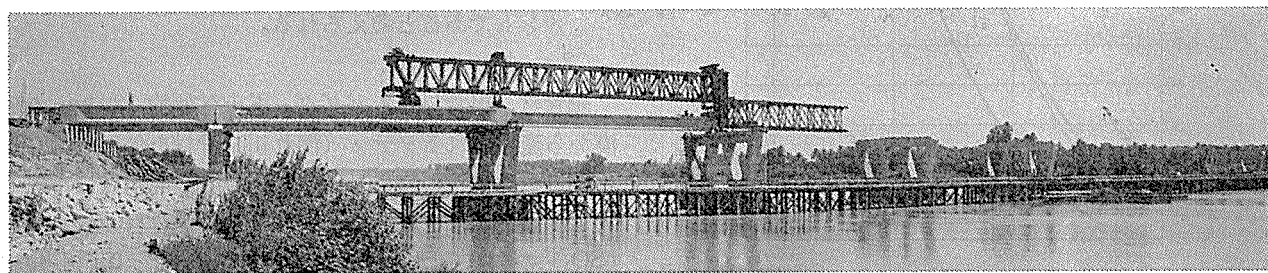
うち、ノースゲート橋（昭和 49 年～52 年）では上部工のエンジニアリングを請け負い、バグダッドノース橋（昭和 51 年～53 年）では上部工を下請け施工した。

表—2 ノースゲート橋およびバグダッドノース橋の概要

ノースゲート橋	バグダッドノース橋
河川部橋梁 橋長 272 m (45 m + 3@60 m + 45 m) 幅員 20 m 構造 5 径間連続 I 形合成桁橋 主桁 B タイプ $l=60.0\text{ m}$ $h=3.00\text{ m}$ $w=315\text{ t}$ 他 アプローチ 橋長 440 m (15+9 径間) 幅員 20 m 構造 単純中理合成床版橋 主桁 (最大) $l=20.0\text{ m}$ $h=0.65\text{ m}$ $w=4\text{ t}$ 歩道橋 橋長 25 m 幅員 4.0 m 構造 単純合成桁橋 主桁 $l=25\text{ m}$ $h=1.0\text{ m}$ $w=8\text{ t}$	河川部橋梁 橋長 314.5 m (18.5 m + 8@37.0 m) 幅員 22.5 m 構造 単純合成桁橋 モスール橋 (同形式 2 橋) 橋長 51.4 m (2@25.7 m) 幅員 13.3 m 構造 2 径間連続 T 形ラーメン橋 アーミーカナル橋 橋長 17 m 幅員 12.5 m 構造 場所打ち単純床版橋
設計 Rendel Palmer & Tritton (イギリス)	設計 Posford Parvy & Partners (イギリス)
工期 1974 年 11 月～1978 年 2 月	工期 1976 年 11 月～1979 年 3 月



写真—1 ノースゲート橋



写真—2 バグダッドノース橋

これらの 2 橋の施工経験をもとに、PC 橋工事における試験について概要を述べる。

2. コンクリートの施工

2.1 材 料

(1) イラク産セメント（耐硫酸塩セメント）

イラクで生産されているセメントは、主として普通ポルトランドセメントと耐硫酸塩セメントの 2 種類である。1976 年以後は建設ブームのため国内需要をみたすには至らず、一部は輸入に頼らねばならないほど品不足であったが、引き続き生産拡張計画（1980 年度中に 800 万 t 生産）が進められている。

砂漠が大部分を占める現地では、塩分を含む地下水が毛細管現象により地表に上昇し、水分だけが蒸発し、塩分が残るために、土壌には多くの硫酸塩等の塩化物が含まれている。そのため現地の建設工事には耐硫酸塩セメントが多く使われているようである。現地での試験練りの結果、設計では普通ポルトランドセメントであったが、比較的強度も高く、バラツキも少なく品質的に優れていた耐硫酸塩セメントを本工事に使用することにした。

1978 年現地で採取したセメントを日本に持ち帰り、物理試験および化学分析試験を行った結果を表—3～表—5 に示す。

試料が約 2 kg と試験項目に対して少なかったが、試験結果から次のことが判定された。

- 1) イラク産のセメントは BS および JIS が定めた耐硫酸塩セメントの化学成分を満足している。なお強熱減量 (ig. loss) の 1.1% は日本のセメントに比較してやや多い傾向にある。
- 2) 材令 3 日の圧縮強さは JIS を満足しているが、材令に伴う伸びは小さく、材令 7 日の強さは 134 kg/cm² であり、140 kg/cm² の規格をわずかに不合格 (96%)、材令 28 日の強さは 200 kg/cm² であり、280 kg/cm² の規格に不合格 (71%) であった。なお、材令 3 日でも日本のセメントと比較して強さのレベルは低い。

表—3 セメントの物理試験結果

	比 重	粉 末 度 ブレン (cm^2/g)	凝 結					安定性 パット	曲げ強さ (kg/cm^2)			圧縮強さ (kg/cm^2)			供試体
			温 度 ($^{\circ}\text{C}$)	湿 度 (%)	水 量 (%)	始 発 (時-分)	終 結 (時-分)		3 日	7 日	28 日	3 日	7 日	28 日	
イラク産 耐硫酸塩セメント	3.17	3120	20.0	95.0	25.0	1-57	3-37	良	26	32	44	93	134	200	円柱 供試体
JIS P 5210 (案) 耐硫酸塩ポルトランドセメント	—	2500 以 上	—	—	—	60分以上	10時間 以 内	良	—	—	—	70以上	140以上	280以上	円柱 供試体
BS 4027	—	2500 以 上	—	—	—	45分以上	10時間 以 内	良	—	—	—	100 以上	—	270以上	立方 供試体

表—4 セメントの化学分析試験結果

	強 熱 減 量 ig. loss	酸化アル ミニウム Al_2O_3	酸 化 第二鉄 Fe_2O_3	酸化カル シウム CaO	三酸化 硫 黄 SO_3	化学組成 アルミン酸三 石灰* C_3A
イラク産 耐硫酸塩 セメント	1.1	3.5	5.7	63.3	2.3	0
JIS R 5210(案) 耐硫酸塩ポ ルトランドセ メント	3.0 以下	—	—	—	3.0 以下	4 以下
BS 4027	3.0以下 4.0以下 (熱帯)	—	—	—	2.5 以下	3.5以下

* アルミン酸三石灰は化学分析結果より次式によって求めた。
 $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 = (2.65 \times \text{Al}_2\text{O}_3) - (1.69 \times \text{Fe}_2\text{O}_3)$

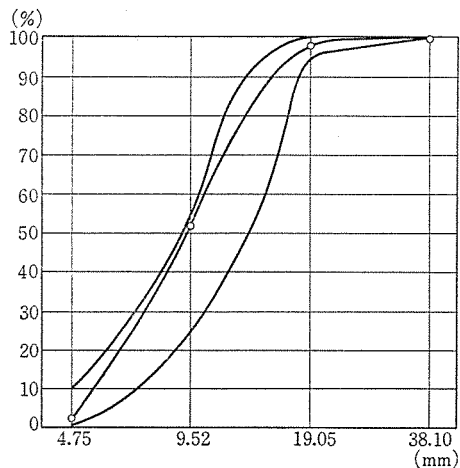
表—5 異常凝結試験結果

	針 入 度	
	5 分後 (mm)	10分後 (mm)
イラク産 耐硫酸塩セメント	0.5	0

日本建築学会では、5 分後
または 10 分後の標準棒の降
下量が、いずれか一方でも
15 mm 以下の場合は、異常
凝結性セメントなので不合格
としている。ただし、試験
は、2 回繰り返すことになっ
ているが、今回は 1 回しか試
験を行っていない。

表—6 粗骨材ふるいわけ試験

ふるいのサイズ (mm)	重 量 (kg)	%	通過%	BS 882
38.10	1 1/2	0.02	99.6	100
19.05	3/4	0.09	98.2	95-100
9.52	3/8	2.38	52.4	25-55
4.75	3/16	4.855	2.9	0-10
全 数 量	5.000	100.0		

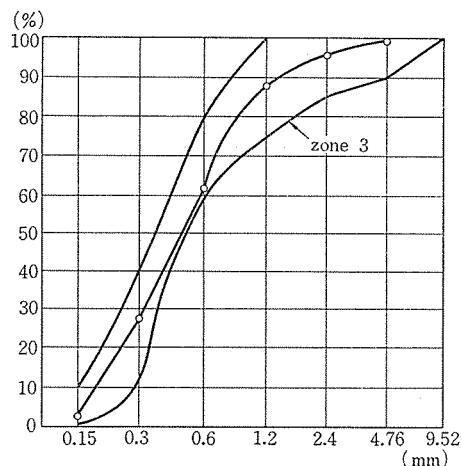


表—7 細骨材ふるいわけ試験

ふるいの サイズ (mm)	重 量 (g)	%	通過 %	BS 882			Zone 4*
				Zone 1*	Zone 2*	Zone 3*	
9.52	—	—	100.0	100	100	100	100
4.76	10	1.0	99.0	90-100	90-100	90-100	95-100
2.4	36	3.6	96.4	60-95	75-100	85-100	95-100
1.2	120	12.0	88.0	30-70	55-90	75-100	90-100
0.6	380	38.0	62.0	15-34	35-59	60-79	80-100
0.3	730	73.0	27.0	5-20	8-30	12-40	15-50
0.15	970	97.0	3.0	0-10**	0-10**	0-10**	0-15**
全数量	1000	100.0					

* ゾーンの種類は単に配合の際に考慮されるもので、限定されるものではない。

** 砕砂については許容値が 20% に上げられている。



3) 日本産のセメントと比較して凝結時間がやや早く、また強い異常凝結（日本建築学会規準と照合した場合）を有し、注水直後に強いコワバリを示し、コンクリートにしたときにひびわれが生じやすいセメントであると考えられる。

(2) 骨 材

細骨材、粗骨材ともバグダッド市郊外約 120 km の砂漠から産出されるワディ（涸れ川）骨材を使用した。

細骨材は単粒の細砂しかなく、粒度の問題点は単位セメント量を増加させることで補った。細骨材の無水硫酸 (SO_3) の含有量は、スペックで定められた 0.5% 規格をかるうじて合格した。細骨材は砂漠での強烈な砂ぼこ

りのため汚れている場合が多く、現場搬入後、入念に水洗いした。

現地で行った骨材のふるい分け試験の結果を表-6、表-7に示す。なお、細骨材について BS 882 ではふるい分け試験結果は Zone 1, 2, 3, 4 の限界値のどれかに入らなければならないと規定してある。

(3) 水

コンクリートに使用する水はチグリス川の原水を使用した。チグリス川の原水は茶褐色に濁っており、そのままでは不適合であるため、能力 20 t/h 浄化装置で処理した。

現地で採取したチグリス川の原水の分析試験結果を表-8に示す。なお処理後の練混ぜ水は BS 3148 の規準に適合した。

表-8 チグリス川原水分析試験表

項 目	試 験 結 果	SPEC	飲料判定基準
外 観	白濁、白色浮遊物 褐色沈澱物を認める	—	—
臭 味	土 臭	—	—
pH	7.7	7~8	5.8~8.6
アンモニア性窒素	検 出	—	同時に検出し ないこと
亜硝酸性窒素	検 出	—	—
硝酸性窒素	0.47	—	10ppm 以下
塩素イオン	100.2	100ppm 以下	200ppm 以下
過マンガン酸カリウム消費量	14.8	—	10ppm 以下
鉄	2.39	—	0.3ppm 以下
総 硬 度	231.0	—	300ppm 以下
蒸発残留物	489	—	500ppm 以下
残留塩素	0.0	—	—
濁 度	45.7	—	2 度以下
判 定	飲料に不適	—	—

2.2 コンクリートの打設の養生

(1) 暑中コンクリート

酷暑期は日中の気温が高く、スペックで外気温が 43℃ 以上の時のコンクリート打設は禁じられていたので、良品質のコンクリートを打設するために施工は夜間から早朝に行われた。またコンクリートの練上り温度はスペックの規定により 32℃ 以下と定められた。酷暑期における材料の温度は水 28℃、骨材 40℃、セメント 80℃ 以上となるため、バッチャープラントに冷却装置（または氷）を設け、冷却水をコンクリートの練混ぜに用いるとともに、その冷却水を前夜から骨材に散布し、コンクリートの練上り温度の低下に努めた。

打設された主桁コンクリートは、12 時間~24 時間蒸気養生を行い主桁型枠脱型後、散水養生を続け、供試体 (BS 規格による立方供試体) 強度がスペックの規定値以上であることを確認のうえ、プレストレスを導入した。そして主桁緊張後も主桁仮置きヤードで、散水およ

びビニールシートで主桁を覆い養生を続けた。

(2) 高強度コンクリートの配合

スペックでは、使用するコンクリートの単位セメント量を 415 kg/cm² 以下と定めながら、試験練りの強度として σ_{ck} の 15~30% 割増ししたものを要求している。バグダッド・ノース橋の床版橋の配合 (A) は、 $\sigma_c=500+140=640$ kg/cm² を、PC 合成桁の配合 (B) は、 $\sigma_c=450+70=520$ kg/cm² の目標強度とするように規定しているが、前述したイラク産セメントを使用することも考え併せると不可能に近い規定であったため、現場に駐在する RE と折衝の結果、使用する単位セメント量を 450 kg/m³ とし、配合 (A) には高性能減水剤 (日曹マスタービルダーズ (株) の NL-4 000) を、配合 (B) には遅延効果のある AE 減水剤 (ポゾリス No. 8) を使用した。

バグダッドノース橋で用いたコンクリートの示方配合は表-9 のとおりである。

NL-4 000 はメラミン樹脂スルホン酸塩系の減水剤で比重 1.13~1.15 の黒褐色の液体であり、セメント量 100 kg 当り 3 000 cc を使用した。現場でのコンクリートの打設はいずれの場合にも練混ぜ後、45 分以内に打設を終了した。

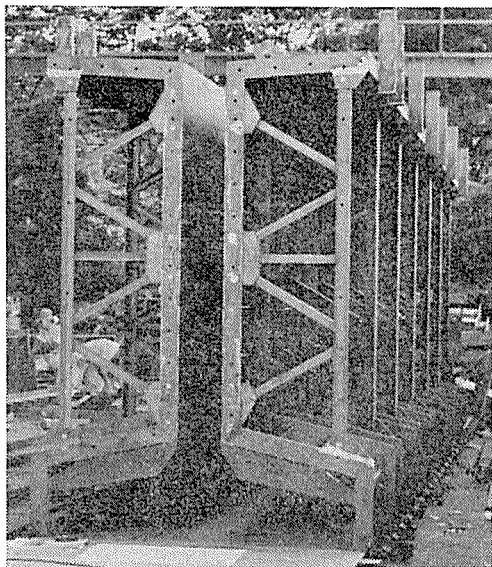
表-9 コンクリートの示方配合 (バグダッドノース橋)

材料	クラス	A	B	C ₁	C ₂
		モスル跨道橋	チグリス橋	仮設コンクリート	水 中
セメント		450	450	356	400
砂		613	588	612	590
砂 利		1224	1165	1244	1190
水		156	171	161	173
混 和 剤		NL-4 000 13.5 l	ポゾリス #8 3.37 l	1.8 l	2.0 l

2.3 型 枠

PC 桁を製作するための鋼製型枠は、工事着手と同時に型枠の設計図、応力検討書、バイブレーターの取付け位置図等を RE に提出し承認を受けた。日本で通常使われている締結装置についてもセメントペーストが漏れるか漏れないかどうか、また型枠が繰返しの使用に耐えるかどうかについて現地の RE と議論が繰返された。主桁型枠は製作図の承認を得て日本の型枠メーカーで製作された。型枠は現地へ搬入した後も、RE 立会いのもとにその型枠を使用して数 m のコンクリートブロックの打設試験を行い、表面の仕上り程度、ペースト漏れの有無、バイブレーターの位置の確認等を行った。

ノースゲート橋で使用した鋼製型枠を写真-3 に示す。



写真—3 鋼製型枠

3. 主桁の載荷試験

日本では特別の場合を除いては、主桁（ポストテンション桁）の載荷試験を行うことは非常にまれである。しかし海外の工事では、スペックに記入されていることが多く、また不測の事故のために桁にクレームをつけられた場合の処置として、桁を合格させるためには、載荷試験を行うことが最も合理的であると考えられ、RE から要求されることが多い。

以下に載荷試験の規定と実際に行った試験について述べる。

3.1 載荷試験の方法と規定

BS によるプレキャスト部材についての載荷試験に関する規定は下記のようにになっている。

CP 115 (The structural use of Prestressed Concrete in Buildings) Clause 602

【載荷方法】

○桁下縁で $\frac{U_w}{10}$ の引張応力を起こさせる荷重を載荷すること。

U_w : コンクリートの設計基準強度

○荷重は5分間載荷すること。

【判定条件】

○試験中、桁に異常がないこと（クラック等）。

CP 110 (The structural use of Concrete) Clause 9.5

【載荷方法】

○載荷荷重は設計死荷重 + 設計活荷重 $\times 1 - \frac{1}{4}$ の荷重によって主桁に引き起こされる応力度と同等な応力度を起こすように載荷すること。

○荷重は5分間載荷すること。

○荷重とたわみは記録しておくこと。

【判定条件】

○たわみの回復は、除荷して5分後に測定し、その後再び載荷して測定する。2回目のたわみの回復は1回目より大きく、かつ回復度は最大たわみの90%を下回ってはいけない。

○試験中、桁に異常がないこと（クラック等）。

3.2 ノースゲート橋の主桁および PC 版の載荷試験

(1) 概要

当橋で載荷試験を要求された部材は、河川部主桁2本、アプローチ部バイアダクト主桁10本、歩道橋橋脚1本、および PC 版 40 枚である。

スペックによれば、これらの試験荷重は各部材の曲げによる下縁の引張応力度が 2 MN/m^2 (約 20 kg/cm^2) となるように決められている。試験方法については明記されておらず、後日 RE と協議して決めた。

(2) 河川部主桁の載荷試験

a) 試験桁

河川部主桁は、第1径間用の A タイプ桁 ($l=58.5 \text{ m}$ のゲルバー桁)、第2径間～第4径間用の B タイプ桁 ($l=61.0 \text{ m}$ のゲルバー桁)、第5径間用の C タイプ桁 ($l=33.0 \text{ m}$ の単純桁) の3種類であり、これらを架設後、ヒンジ部を鋼棒で連結し、最終的に連続構造にする。

このうち試験桁としては、Aタイプ桁とBタイプ桁の2種類とし、それぞれの桁についてスパン中央部の載荷と、中央部プラス張出し部の載荷の二つの試験を行った。

b) 方法

アバット後方のアプローチのバイアダクトの架設区間に、ピア構築前に盛土し、その上で主桁の製作を行ったが、同じヤード内の引き出しレール上に試験桁を仮置きし、図—2 のように装置を配置し試験を行った。

スパン中央部の試験荷重の反力は、盛土前にピアのバイルキャップにピアノ線を埋め込んでそれから取った。張出し部の試験荷重の反力はアバットにやはりピアノ線を埋め込んで取った。

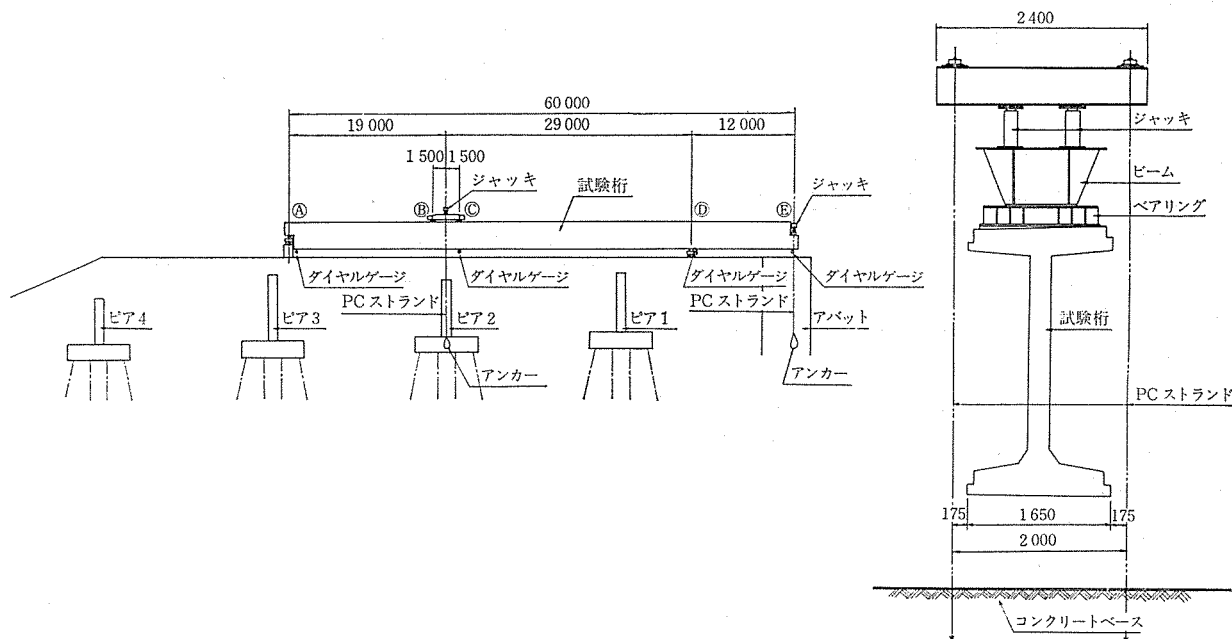
たわみの測定は支点部 2×2 箇所、スパン中央部 2×1 箇所、張出し部 2×1 箇所の計8箇所で行った。

c) 試験の手順

Bタイプ桁について述べる（図—2 参照）。

① 荷重 F_1 を 10 t ずつ載荷し、その時のたわみをダイヤルゲージで読みとる（この時、レベルで同時に中央のたわみを測定した）。

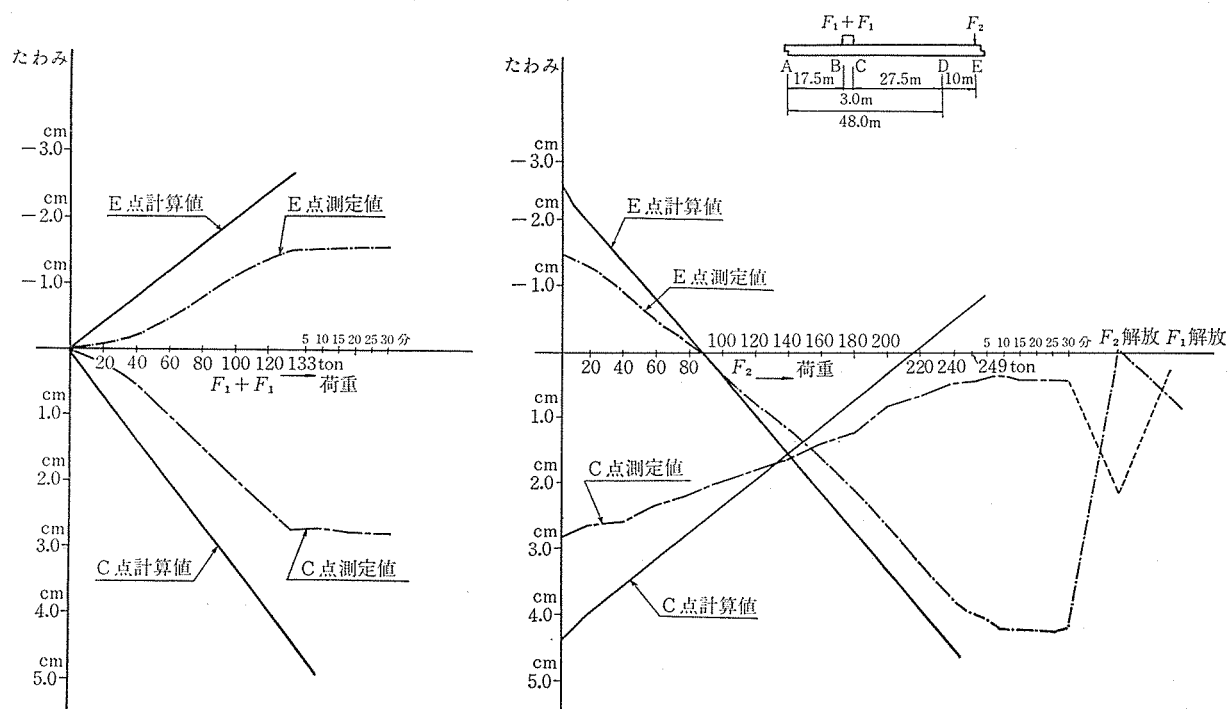
② 最大 $66.5 \text{ t} \times 2 = 133 \text{ t}$ まで同様に片側 10 t ずつ、両側で 20 t ずつ荷重を上げ、たわみを測定す



図一2 ノースゲート橋河川部主桁の載荷試験装置

- る。
- ③ 最大荷重 133 t でたわみ測定後、そのまま 30 分間保ち、5 分ごとにたわみの変動をみる。
 - ④ この 30 分間にクラック発生の有無を入念に調べる。
 - ⑤ 次に、荷重 F_1 はそのままにして、荷重 F_2 を 20 t ずつ載荷していき同様にたわみを測定する。
 - ⑥ 最大 249 t まで荷重を上げ、30 分間放置し、5 分ごとにたわみの変動とクラック発生の有無をみる。
 - ⑦ その後、徐々に F_2 を解放し、 F_2 が 0 になった時点でたわみを測定する。
 - ⑧ 次に F_1 を徐々に解放し、 F_1 が 0 になった時点

荷重-たわみ曲線(Bタイプ桁)



図一3 ノースゲート橋河川部主桁の試験結果

報 告

でたわみを測定する。

- ⑨ その後、約1時間たわみの残留を測定し、たわみの復元性をみる。

d) 試験結果

この試験結果を図-3 に示す。

3.3 バグダッドノース橋の主桁の載荷試験

(1) 概 要

バグダッドノース橋は、ポストテンション方式単純合成桁橋であり、スパン $l=35.9\text{ m}$ 72 本、 $l=17.95\text{ m}$ 9 本の主桁よりなっている。主桁の載荷試験は、BQ (Bill of Quantity) により、 $l=35.9\text{ m}$ 3 本、 $l=17.95\text{ m}$ 1 本となっていた。載荷荷重および方法は、設計図面およびスペックに定められていた。

(2) 載荷荷重の変更

載荷荷重は、設計図面に主桁コンクリートの設計基準強度の $1/10$ の引張応力度を主桁下縁に与えるような荷重と明記してあった。 $\sigma_{ck}=450\text{ kg/cm}^2$ であるから、桁下縁において -45 kg/cm^2 の引張応力度を与える荷重となる。この値は、どう考えても過大と考えられ、また載荷試験において、主桁にクラックが入った場合、主桁は不合格とみなされ、その時点までに製作したすべての桁が不合格とみなされる恐れがあり、業者としては受け入れることのできるものではなかった。それで、工事着手前の 1979 年の 3 月中旬に最初のレター（公式の質問状）を、RE に提出し、交渉した結果、1978 年 4 月に最終の載荷試験の荷重の指示がなされた。それは、桁下縁に、 -17 kg/cm^2 の応力度を発生させるように載荷するというものであった。この間に要した期間は、実に一年間以上であった。

(3) 主桁の載荷試験および方法

スペックによる載荷試験の規定は、次のようになっていた。

- 1) 載荷試験は、RE が、桁が疑わしいと判断したとき業者に命ずることができる (BQ によると 4 本載荷試験を行うことになっていた)。
- 2) 荷重の載荷点は、 $\frac{l}{3}$ 点ずつ 2 点載荷とする。
- 3) 定められた最大荷重まで少なくとも 10 段階に、等間隔に分けて載荷すること。
- 4) 最大荷重は 5 分間載荷すること。
- 5) 除荷は、少なくとも 5 段階に等間隔に除荷すること。
- 6) スパン中央のたわみは、各荷重段階ごとに測定し、荷重を完全に除いたあと、5 分後にも測定すること。
- 7) 荷重は、最大荷重の 2% 以内の精度、または 50 kg

以内の精度で測定すること。

- 8) たわみは、0.5 mm 以内の精度で測定すること。
判定条件は、次のとおりである。

- 1) 荷重-たわみの関係をグラフに取り、直線上にあること。
- 2) たわみの回復は、90% 以上あること。

上記スペックによる規定に従って、RE に指定された桁を下記の手順により試験を行った (図-4 参照)。

- ① 5 t 毎に荷重を上げ、その時のたわみをダイヤルゲージで読みとる (ダイヤルゲージでは 1 回で測定が不可能であるので、レベルにて同時に測定した)。
- ② 最大荷重 72 t まで 5 t ずつ荷重を上げ、たわみを測定する。
- ③ 最大荷重 72 t では、たわみ測定後、載荷させた状態で 5 分間保つ。
- ④ この 5 分間にクラックが発生していないか、またヘアークラックのある桁については、その変化を調べる。
- ⑤ 10 t 毎に荷重を減じていき、その時のたわみ量を測定する。
- ⑥ 0 t でのたわみを測定した後、残留たわみ量を 1

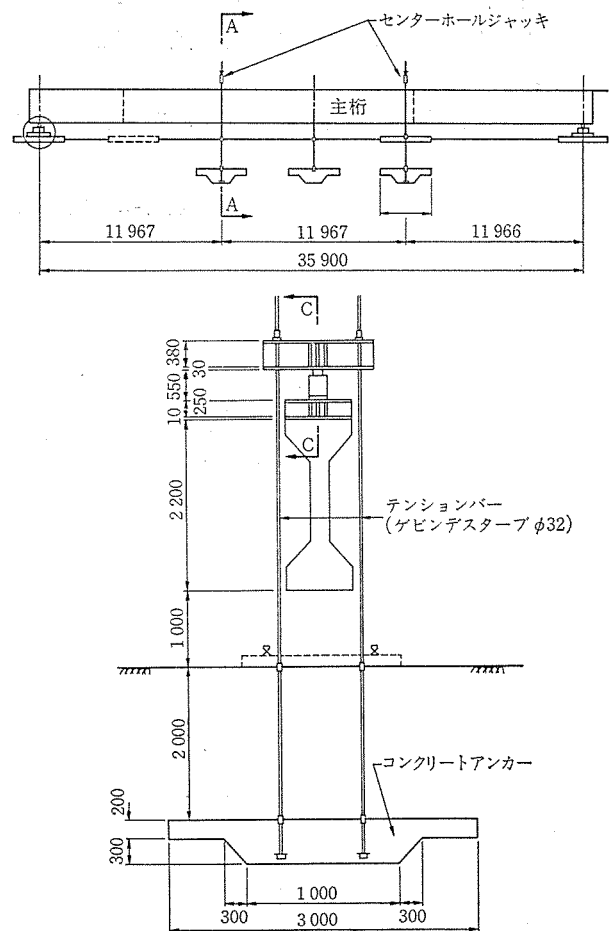


図-4 載荷試験装置

表-10 たわみおよびヤング係数測定結果

主 桁 No.	B-5-3	B-6-6	B-7-8
コンクリート打設日	15/4/78	7/5/78	24/5/78
載荷試験日	11/9/78	21/9/78	1/10/78
コンクリート28日圧縮強度(kg/cm ²)	463	433	450
最大たわみ(mm)	44.53	45.65	45.05
ヤング係数 (kg/cm ²)	実測たわみによる	41.1×10 ⁴	40.2×10 ⁴
	28日強度の場合(仮定)	33.3×10 ⁴	32.4×10 ⁴
	150日強度の場合(仮定)	35.1×10 ⁴	34.4×10 ⁴
たわみの復元性(%)	98.3	98.9	100.3
クリープ(%)	1.87	0.38	1.48

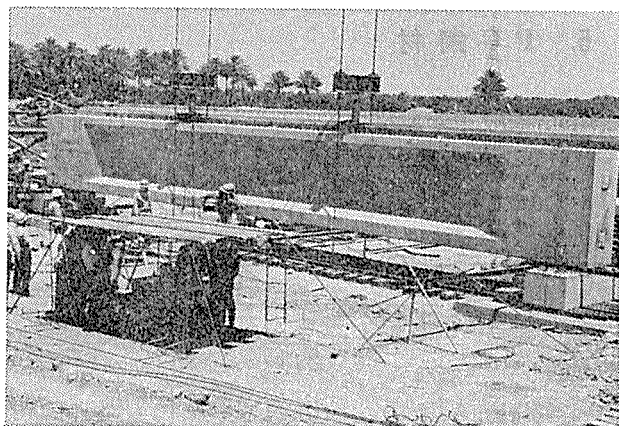
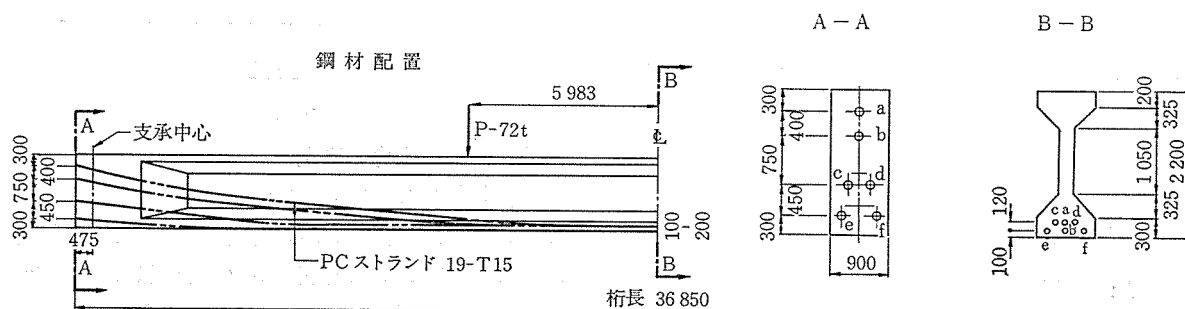


写真-4 バグダッドノース橋河川部主桁の載荷試験

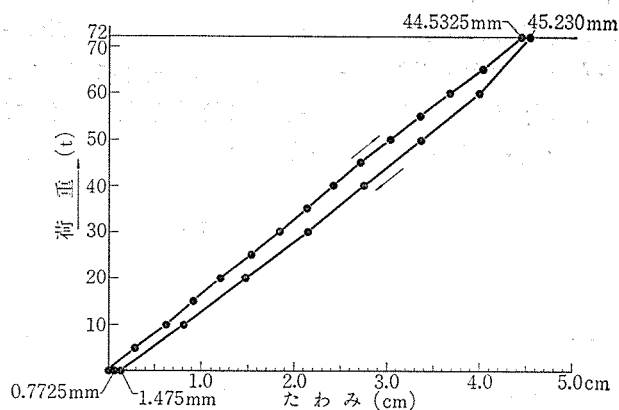


図-5 荷重-たわみ曲線(スパン 37.0 m 桁)

時間後、2時間後、3時間後に測定し、たわみの復元性を記録する。

載荷試験装置は、地中にコンクリートを埋め込み、それから PC 鋼棒で反力を取ったものである(図-4、写真-4 参照)。

(4) 載荷試験結果

載荷試験結果は、すべて良好で、前記判定条件を満足し、合格であった(表-10、図-5 参照)。

4. 緊 張

4.1 緊張作業

緊張作業に関する規定は、BS およびスペックに細か

く規定されており、おおむね日本におけるものと同じである。主な内容は次のとおりである。

- 1) 緊張機器は、各工法に従ってメーカーの指定するものを使用し、ゲージ等はあらかじめキャリブレーションを行う。
- 2) 緊張中事故(鋼線の切断等)があった場合は、ただちに作業を中止し、エンジニアの指示を受けること。エンジニアの承認なしに作業を再開しないこと。
- 3) 緊張記録の提出(最終引張荷重、最終伸び、セット量等)。

4.2 緊張管理について(図-6 参照)

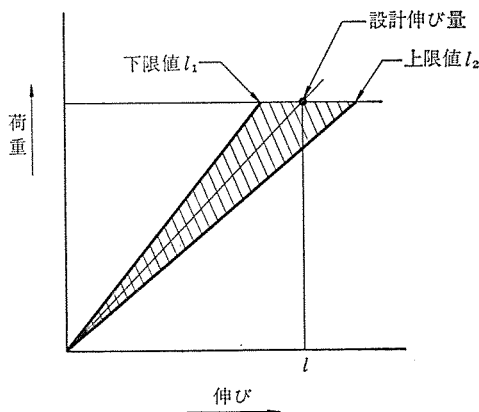


図-6 緊張管理図

緊張管理は、所定荷重で緊張した時の伸び量が、設計伸び量の $\pm a\%$ 以内に入っていれば良いということで行った。

$$\text{下限値 } l_1 = l \left(1 - \frac{a}{100} \right)$$

$$\text{上限値 } l_2 = l \left(1 + \frac{a}{100} \right)$$

l : 設計伸び量

管理限界値の範囲 a については、ノースゲート橋では、スペックに従って $\pm 6\%$ とし、ノースブリッジ橋では、範囲について明記してなかったが、CP 110 Clause 8.7.5.4 に従い同様に $\pm 6\%$ とした。一般に日本では、 μ を管理のパラメーターとして統計的手法を使って μ の上限・下限を決め、図-7 のような管理方法が取ら

れているが、海外では行われていないようである。この日本の方法 (μ 管理) は、品質管理という点から考えると理論的に、すっきりしていて良いと言えるが、施工面から併せて考えると、前記海外での方法の方が簡単であり、またそれで十分であるように思える。

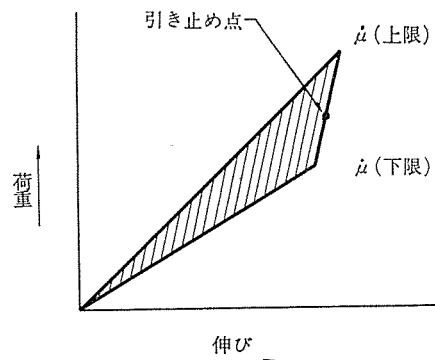


図-7 μ 管理図

4.3 最終緊張力の決定

最終緊張力は、スペックまたは図面に規定されていて、原則としてそれに従って緊張を行った。設計計算書の誤りのため RE に訂正のレターを出し、コンサルタントの承認、RE の承認を得て、緊張力の変更を行った例もあった。

5. PC 鋼材

5.1 使用 PC 鋼材

PC 鋼材の特性についての規定は、BS 規格によるも

表-11 PC ストランド (BS 規格と JIS 規格)

規 格		径 (mm)	許 容 値 径(mm)	標 準 断 面 (mm ²)	重 量 (kg/1 000 m)	引 張 強 度 (kg)	降伏点強度 (kg)	伸 び		レラクセーション			
								ゲージ、 長	%	初期荷重	時 間	%	
BS 3617 (1971)	ノク セー マル シ レ ラン	6.4	+0.4 -0.2	24.5	194	4 540	3 865	600 mm	(最小)	0.7 σ_{pu} or 0.8 σ_{pu}	1 000	(最大)	
		7.9		37.4	298	7 040	5 986		3.5				
		9.3		52.3	411	9 530	8 107						
		10.9		71.0	564	12 750	10 840						
		12.5		94.2	744	16 820	14 310						
		15.2		138.7	1 101	23 150	19 680						
	ロー セー レ シ ョ ン	6.4	+0.4 -0.2	24.5	194	4 540	4 079	600 mm	3.5	0.7 σ_{pu} or 0.8 σ_{pu}	1 000	2.5	
		7.9		37.4	298	7 040	6 332						
		9.3		52.3	411	9 530	8 576						
		10.9		71.0	564	12 750	11 472						
		12.5		94.2	744	16 820	15 143						
		15.2		138.7	1 101	23 150	20 283						
JIS G 3536 (1971)	7A	6.2	+0.4 -0.2	23.23	182	4 100	3 450	600 mm	3.5	0.8 σ_{py}	10	3.0	
		7.9		37.42	293	6 600	5 600						
		9.3		51.61	405	9 050	7 700						
		10.8		69.98	546	12 200	10 400						
		12.4		92.90	729	16 300	13 900						
		15.2		138.7	1 101	23 100	19 700						
	7B	9.5	+0.4 -0.2	54.84	432	10 400	8 850	600 mm	3.5	0.8 σ_{py}	10	3.0	
		11.1		74.19	580	14 100	12 000						
		12.7		98.71	774	18 700	15 900						

のであり、日本製品を使用するにあたっては、あらかじめ承認が必要である。日本製 PC 鋼材は、BS 規格を満足するものであった (表-11 参照)。

5.2 PC 鋼材の取扱い

PC 鋼材の現場での取扱いについては、BS に規定されており、それを規準としてスペックに細かく規定してある。内容は、日本国内の場合と概略同じで、鋼材の保管方法 (錆、ほこり、グリース、油等からの防護)、コイルに巻く場合の最小内径、鋼材の切断方法等について規定してある。

5.3 鋼材の試験成績書

(1) 強度試験

使用された PC 鋼材の強度試験成績書は、スペックに規定された数量ごとに行った結果を、遅くとも緊張作業前に提出し、承認を得る必要があった (各コイルごと)。

(2) レラクセーション試験

レラクセーションについては、BS では 1000 時間後の値で規定されているが、JIS では 10 時間後の値で規定されている。1000 時間のレラクセーションテストは、メーカーにとって相当な手間であり、また日数がかかるので、それをまともに行うのは問題となった。それで交渉の結果、とりあえず 100 時間の試験結果を 3 コイル分提出し、1000 時間については 1 コイル分、後日提出した。試験結果は、表-12 のとおりである。

6. あとがき

これからの中東地域での海外工事はイラク、サウジアラビア、アラブ首長国連邦等を中心として、まだまだ増加すると思われる。

ここに、イラク国バグダッド市のチグリス川に架かる二つの橋梁工事の経験をもとに、PC 橋工事の管理と試験についてまとめてみた。イラクでも最近道路局 (R.B.D) で土木工事標準示方書が発行され、BS, DIN, ASTM, AASHTO の規格を参考にして作成されており、独自の技術の確立を急いでいる。現地の若い技術者もこの技術の修得に懸命である。

また筆者達は同地で外国の技術者と接してみて、我々日本人技術者の計算力の高さを自覚するとともに、欧米技術者の企画力、応用力の豊かさに大いに学ぶところがあった。

海外工事では理論に裏付けされた技術力および適応性が非常に重要なことであることは、以前からいわれてい

表-12 レラクセーション試験結果

鋼材の種類	コイルNo.	載荷荷重	載荷時間	結 果	BSの規定 (3 617)
φ15.2 ストランド normal relaxation	LK-27	60% U.T.S	100時間	1.05%	—
		70% "	"	2.44	—
		80% "	"	4.46	—
	LK-57	60% "	"	1.12	—
		70% "	"	2.34	—
		80% "	"	4.53	—
	LK-101	60% "	"	1.20	—
		70% "	"	2.51	—
		80% "	"	4.65	—
	—	60% "	1000	1.7	—
		70% "	"	4.0	7% 以下
		80% "	"	6.8	12% "
φ15.2 ストランド low relaxation	LK-1	60% "	1000	1.25	—
		70% "	"	1.35	2.5%
		80% "	"	2.5	3.5%

る。

これからの海外工事へ出かけようとする若い技術者にとって、この小文が一助になれば幸いである。

最後に、資料を提供していただいた大林組海外工事部の方々には誌上を借りて謝意を申し述べます。

参 考 文 献

- 1) BS 812; Sampling and testing of mineral aggregates, sand and fillers, part 1~part 4, 1975~1976
- 2) BS 882; Aggregates from natural sources, part 2, 1973
- 3) BS 1881; Methods of testing concrete, part 1~part 6, 1970~1971
- 4) BS 3148; Tests for water for making concrete, 1959
- 5) BS 4027; Sulphate-resisting Portland Cement, part 2, 1972
- 6) BS 5075; Concrete Admixtures, part 1, 1974
- 7) BS CP 110; The structural use of concrete, 1972
- 8) BS CP 115; The structural use of prestressed concrete in buildings, 1969
- 9) Road Note, No. 4
- 10) Specification of North Gate Bridge Baghdad, 1974
- 11) Specification of Baghdad North Bridge & Approaches, 1975
- 12) Standard Specification for Road and Bridge (IRAQ), 1979
- 13) 河合汪, 佐藤素啓: イラクにおけるプレストレスト橋工事——バグダッドノース橋——, コンクリート工学, 第16巻6号 (1978) 6月号
- 14) 横山志郎, 檜村郁雄: バグダッドノース橋建設工事 (イラク), 土木施工, Vol. 19, No. 13 (1978) 11月号
- 15) 石原毅, 田辺大三郎, 河村哲男: ノースゲート橋上部工報告, プレストレストコンクリート技術協会第18回研究発表会講演概要, 1978. 11月