

- 7) Joseph Marein, F.D. Cotterman : Experiments on Plastic Bending for Aluminium Alloy 17 S-T ; Proc., A.S.T.M., Vol. 43, 1943
- 8) 吉田彌七 : 鉄筋コンクリート梁設計法の根本概念について, 昭和 27 年セメント技術年報
- 9) Inge Lyse : A Study of Reinforcement in Concrete Slabs, A.C.I. Journal, Sep.-Oct., 1936
- 10) 山田順治 : 塑性理論を応用したる鉄筋コンクリート部材の破壊理論, 土木学会論文集, 第 4 号 昭和 24 年 (昭.28.11.6)

AE コンクリートの付着力に関する研究*

正 員 荒 木 謙 一**

EFFECT OF ENTRAINED AIR ON BOND BETWEEN CONCRETE AND REINFORCING STEEL

(JSCE May 1954)

Ken-ichi Araki, C.E. Member

Synopsis This paper reports an experimental investigation of the effect of entrained air on the bond properties of the round bars, which are cast vertically in the concrete cubes. Applying the method of factorial design of experiment, each effect of air, water and cement contents on the Bond Strength are examined.

要旨 本文はコンクリートに丸鋼を鉛直に埋め込み引き抜き試験を行い, AE コンクリートと普通コンクリートとの付着力を比較し, 特に空気量, 水量及びセメント量の影響を要因配列実験法を用いて調べたものである。

1. 緒言

鉄筋とコンクリート間の付着力は 2 者間の真の付着力と, コンクリートの硬化収縮による圧力によつて生じ, コンクリートの性質 (特にセメントの種類, 量, 使用水量, 空気量等) と鉄筋の表面の状況, 埋め込みの位置, 方向, 長さなどによつて異なる。これらについては古くより研究されており, AE コンクリートについても Wuerpel¹⁾ や Hognestad²⁾ などの研究がある。著者は丸鋼について付着力が AE コンクリートと普通コンクリートとではどう違うかを空気量, 水量, およびセメント量を変えて実験した。すなわち配合としては強度とウォーカービリチーとのほぼ等しい普通コンクリートと AE コンクリートの 2 種 (表-4 の No.1 と No.8) を選び, その他の配合はその組み合わせとした。なお本研究は文部省科学研究助成補助金により実施した。

2. 材料および実験の方法

a) 材料 セメントは日本セメント土佐工場製の普通ポルトランドセメント (表-1 参照), 骨材は吉野川

* 土木学会第 9 回年次学術講演会 (昭.28.5.24) に於いて発表

** 徳島大学助教授, 工学部土木工学教室

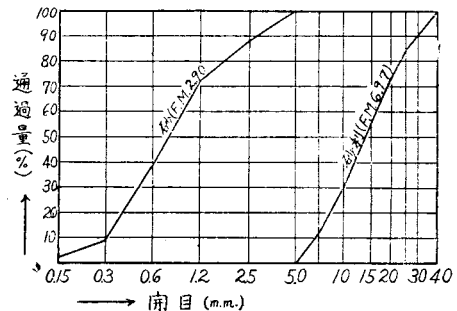
表-1 セメント

比 重	曲げ強度 (kg/cm ²)		圧縮強度 (kg/cm ²)	
	7 日	28 日	7 日	28 日
3.14	39.0	62.3	172	362

表-2 骨 材

	比 重	吸水率 (%)	空隙率 (%)	粗粒率
砂	2.62	1.6	35.3	2.90
砂 利	2.61	1.1	33.2	6.97

図-1 骨材の粒度曲線



産で砂利の最大寸法は 30 mm である (表-2 及び 図-1 参照)。AE 材はダレックスで 10 倍薄液として用い, 鉄筋は径 16 mm の軟鋼の丸鋼とし表面の浮き錆を落して用いた (表-3 参照)。

b) 配合 配合は表-4 のとおりで 8 種類とし要因配列実験法が使えるように, まず基準配合 (普通コン

表-3 鉄筋引張試験

No.	径 (mm)	降伏点 (kg/cm ²)	引張強度 (kg/cm ²)	伸率 (%)
1	15.60	3 229	4 455	32.1
2	15.57	3 112	4 440	32.0
3	15.47	2 926	4 373	31.8
4	15.51	2 938	4 351	33.1
平均	15.54	3 051	4 405	32.3

クリート No.1, AEコンクリート No.8) を予備実験で決めた。その目標はスランプが 15 cm, 28日圧縮強度が 260 kg/cm² とした (表-5 参照)。他の配合は No.1 と No.8 の空気量, 水量, 及びセメント量の組み合わせとした。G/S も変えるのが適当とは思つたが実験量が非常に多くなるので止めた。

表-4 配合表

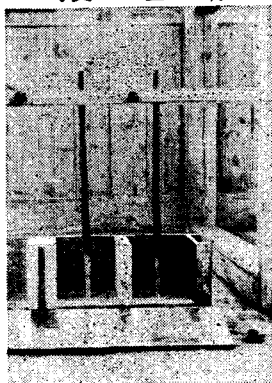
No.	配合要素	水比 W/C (%)	セメント量 C (kg/m ³)	水量 W (kg/m ³)	G/S	ダレツクス (cc/m ³)
1	A ₁ W ₁ C ₁	60	275	165	1.7	0
2	A ₂ W ₁ C ₁	60	"	165	"	75
3	A ₁ W ₂ C ₁	56.4	"	155	"	0
4	A ₂ W ₂ C ₁	56.4	"	155	"	75
5	A ₁ W ₁ C ₂	58.5	282	165	"	0
6	A ₂ W ₁ C ₂	58.5	"	165	"	75
7	A ₁ W ₂ C ₂	55	"	155	"	0
8	A ₂ W ₂ C ₂	55	"	155	"	80

表-5 基準配合の試験結果

コンクリート	配合 No.	スランプ (cm)	空気量 (%)	圧縮強度 (kg/cm ²)				
				1	2	3	4	平均
普通	1	14.5	2.1	253	267	268	265	263
A E	8	15.3	5.0	255	259	267	254	259

c) 供試体の作製 普通の梁の型枠を3つに仕切り約 15 cm 立方体とし, その中央に鉛直に径 16 mm の丸鋼を固定した (写真-1 参照)。コンクリートは 1 バッチ 30 l としランサム型 2 切ミキサで 3 分間練り, 3 個の供試体を作り同時にスランプとワシントン型エアメータで空気量とを測定した。各配合につき 2 バッチとし 6 個ずつ作った。型枠には 2 層につめ毎層標準

写真-1 型枠



突棒で 14 回突いた。コンクリートが硬化してから, セメントペーストでキャッピングを行い, 打ち込み後 40~50 時間経つて脱型し, 水中養生をした。その温度は 16~24°C, 平均 20°C であつた。

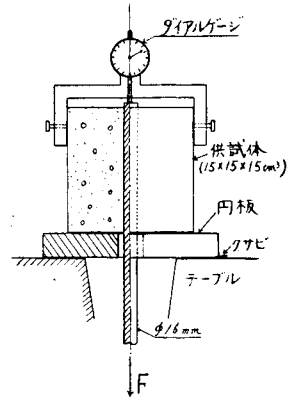
d) 引き抜き試験方法 材令 28 日で引き抜き試験を行つた。50 t 万能試験機のラムを

10 t とし, かつ引き抜き用球面座が無いので, 鉄筋が機械中心に一致するように, 供試体を円孔のある円板

写真-2 引き抜き装置



図-2 引き抜き装置



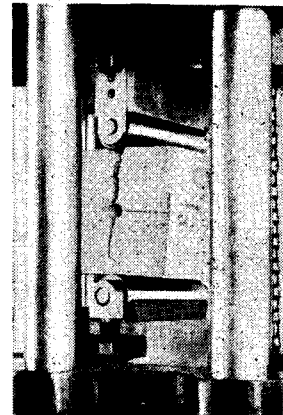
上に載せ, 円板と試験機のテーブルとの間に 2 箇所小さな薄い鉄板のクサビを入れて加減した。鉄筋末端の滑りを測定するため, 1/100 mm 目盛のダイヤルゲージをコンクリートに固定した枠に取り付けた (図-2, 写真-2 参照)。

e) 圧裂試験方法

コンクリートについての圧縮強さ試験は全配合について行ふべきであつたが, 養生室の大きさその他の都合で実施できなかった。

その代用として, 鉄筋を引き抜いた直後に写真-3 のように, 供試体の側面に曲げ試験用の支承をあてて線荷重を加え圧裂し, そのときの荷重 $P_0(t)$, 埋め込み長さ l cm 及びそれに直角の巾 B cm を測り $P = P_0 \times 15 \times 15 / lB$ すなわち 15 cm 立方体の場合に換算した荷重 Pt によつて, コンクリート自身の強さの比較に用いた。

写真-3 圧裂試験方法



3. 実験結果

a) 付着力 付着応力の分布は鉄筋の長さに沿つて

変わるが、付着力がコンクリートの配合の違いによりどのように変わるかを知るため、その平均を採り平均付着力は $\tau = F/A$ とした。ただし F は引き抜き力、 A はコンクリートと鉄筋の接触面積である。 F としては滑り始めの値か、 $\max F$ かまたはその中間値を採るべきかが、さらにまた滑りも鉄筋の長さに沿って違っているから、どこを測るべきかも問題と思う。ASTM³⁾のAE材の試験法では荷重側と自由端とにダイヤルゲージを付け、荷重側の滑りが0.01 in になるまでの各滑りに応じた付着力の平均値を採るように定められ、また Hognestad²⁾はAEコンクリートでは荷重側の滑りが0.003~0.005 in 間のものが適当であると述べている。

付着力はコンクリートと鉄筋の間の真の付着力とコンクリートの硬化収縮による圧力(一種の摩擦力)とによつて生じ、滑りが大となると後者が主となる。従つて鉄筋の太さが長さに沿つてわづかに違つても $\max F$ は大きな影響を受けるから、コンクリートの配合の影響を調べるには滑りの初期の F を用いるべきであると思う。さらに構造物の安全性からいつてもそうである。滑りの測定箇所については、荷重側も測るべきであつたが装置が無いので自由端だけとし、Clark¹⁾の実験の滑りと付着力の図等を参考とし荷重側の滑りが0.003~0.005 in にほぼ相当するかと考えられる自由端の滑り0.01 mm と滑り始めの0.001 mm の付着応力の平均値をもつてかりに付着力と見なした。このようにした他の理由は同一配合の各供試体の付着力のバラツキが0.001 mm または0.01 mm についてそれぞれ計算したものより平均値を採つたものの方が小さかつたからでもある。滑りと付着応力の測定値を 図-3 (配合 No. 1 と 8 を例示し他は省略)に、各配合につき、6 個の供試体の平均値を 図-4 に示す。それによ

るとAEの方が小さい滑りで最大付着応力に達するようである。各配合に対するスランプ、空気量及び付着力を表-6に示す。総平均 τ は 31.0 kg/cm^2 となつた。

b) 圧縮強度 基準配合の No. 1 と 8 の 28 日圧縮強度は表-5 のとおりで、他の配合については 図-5 の強さ係数 P より推定することができる。

c) 付着力に対する配合要素の影響 要因配列実験法⁵⁾に従つて測定値を整理し*,分散分析表を表-7に示す。処理間の平方和は $F_0 = 48.93/5.37 = 9.112 > 3.625 = F_{35}^*(0.005)$ で十分有意である。また各要素の効果は表-8のとおりで、空気量 A 、水量 W は0.5%で、セメント量は1%の危険率で有意である。しかしその相互効果は有意ならなかつた。配合の2基準の選定がまず A, W, C の変化率が違い(それぞれ3.2%, 6.25%, 2.51%), 比較しにくいので各1%当りに対する付着力の変化量を求めることにする。空気量の場合を例に挙げれば、少し乱暴ではあるが、 A

図-3 配合 No.1 と 8 の滑りと付着応力

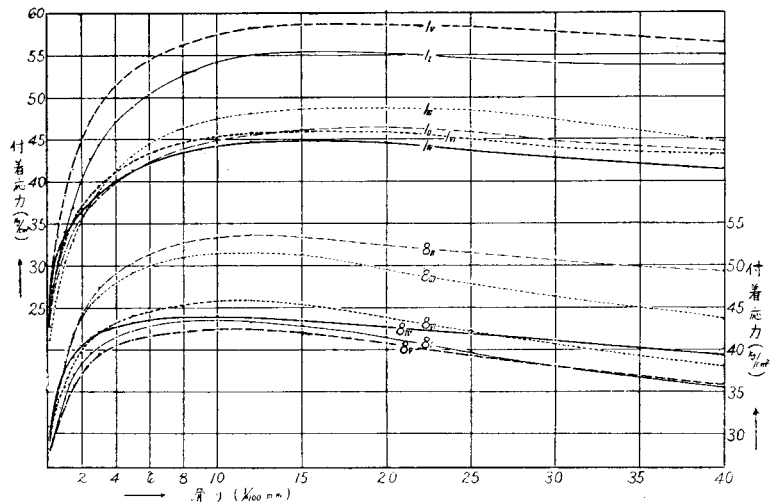
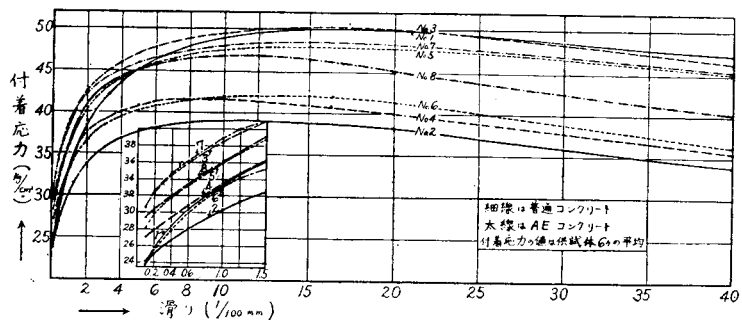


図-4 各配合の滑りと付着応力



* 19 ページ附録参照のこと。

表-6 付着強度及び強さ係数

配合	スランブ (cm)	空気量 (%)	付着力 (kg/cm ²)							強さ係数 (t) (6個の平均)
			I	II	III	IV	V	VI	平均	
1	13	1.9	32.2	27.6	25.8	28.1	29.4	28.5	28.6	6.84
2	19	4.5	22.6	25.8	23.5	28.7	29.6	31.8	27.0	5.96
3	5	1.9	35.1	32.0	35.8	32.8	33.1	38.2	34.5	7.47
4	16	4.9	30.9	26.2	32.8	30.4	31.0	30.5	30.3	6.52
5	11	1.9	29.4	33.2	28.4	31.8	35.1	34.0	32.0	7.19
6	18	4.7	26.9	29.8	29.3	29.2	29.6	27.0	28.6	6.35
7	7	2.3	32.6	33.7	31.0	34.6	39.6	36.6	34.7	7.61
8	16	5.1	31.1	33.2	33.4	33.8	30.7	32.2	32.6	6.82

表-7 分散分析表 (1)

変動因	平方和	自由度	平均平方
処理間	342.49	7	48.93
集区間	50.11	5	10.02
実験誤差	188.05	35	5.37
総	580.65		

表-8 分散分析表 (2)

要因	自由度	平方和	要因	自由度	平方和
A	1	95.21	W-C	1	4.94
W	1	188.03	C-A	1	0.08
C	1	41.81	A-W-C	1	11.02
A-W	1	1.40			

の効果は記号的に

$$\begin{aligned}
 A &= \frac{1}{m/2 \cdot n} \{A_2 - A_1\} (W_2 + W_1) (C_2 + C_1) \\
 &= \frac{1}{8/2 \cdot 6} \{(-18.0 + 8.4) + (1.8 - 27.0) \\
 &\quad + (-8.2 - 11.9) + (15.4 - 28.1)\} \\
 &= -2.82 \text{ kg/cm}^2
 \end{aligned}$$

(ここに用いた数値はτの代りにτ-30を用い、かつ各配合の6個の和のままを使つた)従つてAの1%の増加に対してτの増加は -2.82/3.2 = -0.88 kg/cm² で総平均τの 2.84% にあたる。同様にして普通コンクリートの W, C に対してそれぞれ -2.1% (-0.69 kg/cm²), +2.2% (+0.71 kg/cm²) に、AE コンクリートではそれぞれ -2.0% (-0.58 kg/cm²), +2.6% (+0.78 kg/cm²) にあたる。

d) 強さ係数と付着力の関係 各測定値は 図-5 及び表-6のとおりで、相関係数は普通及びAEコンクリートでそれぞれ 0.729, 0.782 となり0.1%の危険率で有意である。図より P と τ は直線関係にあると

考えられるので最小自乗法でその関係式を求めると

普通コンクリート $\tau = -27.67 + 8.26 P$

AE コンクリート $\tau = -12.52 + 6.58 P$

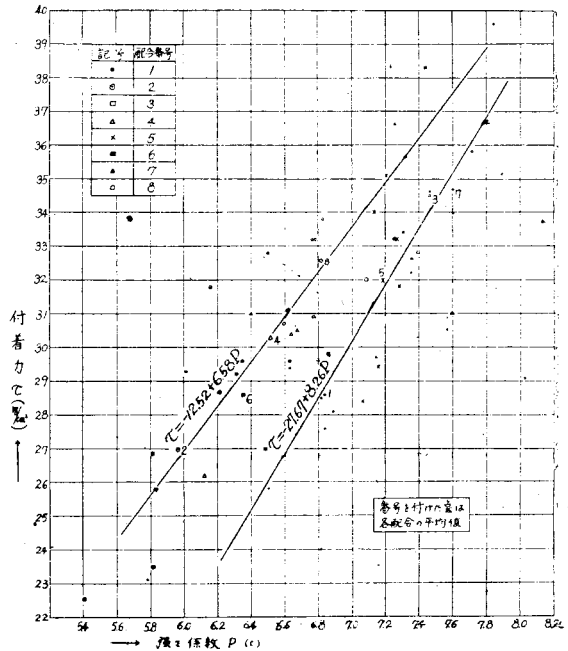
ここにτは自由端の滑りが 0.001 mm と 0.01 mm の付着応力の平均 (kg/cm²), P はコンクリートの強さ係数 (圧裂荷重) (t) である (表-5, 6 参照)。

表-9 P と τ の平均

コンクリート	\bar{P} (t)	$\bar{\tau}$ (kg/cm ²)
普通	7.28	32.4
A E	6.41	29.6
総平均	6.85	31.0

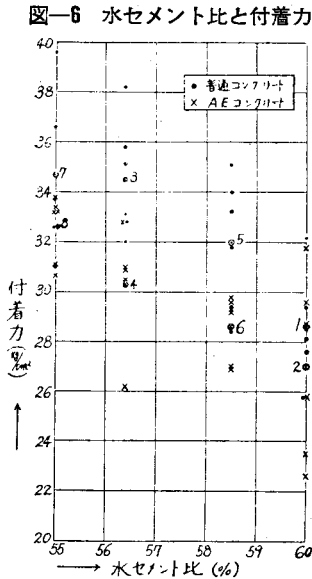
普通及びAEコンクリートのPとτの平均値は表-9のとおりでAEコンクリートのほうがPが落ちるほどにはτが落ちないようである。これはウォーカーピッチーがよく、

図-5 強さ係数と付着力



浮き水なども少なくなるためと思われる。

e) 水セメント比と付着力の関係 この関係を図一



6 に示す。普通コンクリートと AE コンクリートとはほぼ平行的である。

4. 結 語

引き抜き試験装置の不完全や鉄筋表面の状況が個々について多少異なることなどから、同一配合のもでも付着力のバラツキがかなり大きかったが、配合の相違が付着力に全体として有意な差を生ずることは推計学的にも実証されたが、定量的には正確に示せなかつた。

しかし概略の値としては、滑り始めの付着力は空気量の 1% の増加について約 3% を減じ、水量あるいはセメント量の 1% の増加に対して普通及び AE コンクリートとともに約 -2% あまり、+2% あまりの変化を生じた。本実験では空気を連行することによりコンクリートの強さは落ちるが付着力はその割合には落ちないことがわかつた。

本研究に対し協力された学生藤井郁夫君ならびに助手広瀬嘉治氏等に厚く感謝の意を表する次第である。

附 録 分散分析表の出し方 (17 ページの説明)

附表一 試 験 結 果

配合	I		II		III		IV		V		VI		和 T_i	T_i^2
	x	x^2	x	x^2	x	x^2	x	x^2	x	x^2	x	x^2		
1	+2.2	4.84	-2.4	5.76	-4.2	17.64	-1.9	3.61	-0.6	0.36	-1.5	2.25	- 8.4	70.56
2	-7.4	54.76	-4.2	17.64	-6.5	42.25	-1.3	1.69	-0.4	0.16	+1.8	3.24	-18.0	324.00
3	+5.1	26.01	+2.0	4.00	+5.8	33.64	+2.8	7.84	+3.1	9.61	+8.2	67.24	+27.0	729.00
4	+0.9	0.81	-3.8	14.44	+2.8	7.84	+0.4	0.16	+1.0	1.00	+0.5	0.25	+ 1.8	3.24
5	-0.6	0.36	+3.2	10.24	-1.6	2.56	+1.8	3.24	+5.1	26.01	+4.0	16.00	+11.9	141.61
6	-3.1	9.61	-0.2	0.04	-0.7	0.49	-0.8	0.64	-0.4	0.16	-3.0	9.00	- 8.2	67.24
7	+2.6	6.76	+3.7	13.69	+1.0	1.00	+4.6	21.16	+9.6	92.16	+6.6	43.56	+28.1	789.61
8	+1.1	1.21	+3.2	10.24	+3.4	11.56	+3.8	14.44	+0.7	0.49	+3.2	10.24	+15.4	237.16
和 T_j	+0.8		+1.5		0		+9.4		+18.1		19.8		+49.6	2362.42
T_j^2	0.64		2.25		0		88.36		327.61		392.04		810.90	
Σx_j^2		104.36		76.05		116.98		52.78		129.95		151.78	$\Sigma \Sigma x_{ij}^2 = 631.90$	

附表一に測定値より導いた $x = \tau - 30$ 及び x^2 を示す。m を配合数 (処理数), n を繰り返し回数 (集区数) とすれば

総平方和

$$S = \Sigma \Sigma x_{ij}^2 - T^2/mn = \Sigma_1^m \Sigma_1^n x_j^2 - \left(\frac{\Sigma T_i}{1} \right)^2 / mn$$

$$= 631.90 - 49.6^2/8 \times 6 = 580.65$$

処理間平方和

$$S_1 = \frac{1}{n} \Sigma_1^m T_i^2 - T^2/mn$$

$$= \frac{1}{6} \times 2362.42 - 49.6^2/8 \times 6 = 342.49$$

集区間平方和

$$S_2 = \frac{1}{m} \Sigma_1^m T_j^2 - T^2/mn$$

$$= \frac{1}{8} \times 810.90 - 49.6^2/8 \times 6 = 50.11$$

となりこれから表一の分析表ができる。

また表一は次のようにして求めた。A の平方和は

$$A = \frac{1}{mn} \{ (A_2 - A_1)(W_2 + W_1)(C_2 + C_1) \}^2$$

$$= \frac{1}{8 \times 6} \{ (-18.0 + 8.4) + (1.8 - 27.0) + (-8.2 - 11.9) + (15.4 - 28.1) \}^2$$

=95.21

であり他も同じ。

参 考 文 献

- 1) C. E. Wuerpel : "Laboratory Studies of Concrete Containing Air-Entraining Admixtures," ACI Journal, Proc. V. 42, pp. 305~359, Feb. 1946
- 2) E. Hognestad and C. P. Siess : "Effect of Entrained Air on Bond Between Concrete and Reinforcing Steel", ACI Journal, Proc. V. 46, pp. 649~667, Apr. 1950
- 3) ASTM : "Air-Entraining admixtures for Concrete (C 233-50 T)", 1950 Supplement to Book of ASTM Standards, Part 3, p. 186
- 4) A. P. Clark : "Bond of Concrete Reinforcing Bars", ACI Journal, Proc. V. 46, pp. 161~184, Nov. 1949
- 5) 応用力学会編・応用統計学 北川敏男：実験計画法の統計理論への序説, pp. 5・28~34, 昭.26

(昭.28.11.12)

箱桁を応用した橋梁構造とその一計算法について*

正 員 星 治 雄**

ON ONE CALCULATION METHOD OF BOX BEAM APPLIED
TO THE BRIDGE MAIN BEAM

(JSCE May 1954)

Haruo Hoshi, C.E. Member

Synopsis The highway bridge structure have made great progress in recent years in foreign countries. This was made mainly by (i) advancement and use of high tensile steels and light weight metals (ii) improvement of bridge floor system (iii) improvement of bridge main beam and use of box beam (iv) welded bridge. This paper states the structural merits of bridge box beam and proposes one calculation method for the bridge box beam.

要旨 最近諸外国における道路橋構造はいちじるしい進歩をとげつつある。これは (i) 高張力鋼及び軽合金の利用 (ii) 橋床構造の改善 (iii) 橋梁主桁の改良並びに箱桁構造の応用 (iv) 溶接橋等が総合的に成果したものである。本文ではこのうち特に箱桁構造について述べ、かつその一計算法を示したものである。計算法として用いたものは著者前著における変形法による格子構造の解法を準用し¹⁾、これを簡単な例題について数値計算を行った。

1. 箱桁構造

従来橋梁構造として採用せられてきたものは、ほとんどすべてが平面構造の立体的組合せである。縦桁、横桁、主桁はそれぞれ結合せられて立体構造の橋梁を形成するが、その設計計算には立体的要素が加味せられない。他方橋梁構造各部について、成岡、大村両氏の歪測定結果によれば²⁾、現在採用せられているような橋梁構造でも、その取付構造により、ある程度は立

体的に力の配分が行われていることが確認されている。しかしこれは実験に用いた試験荷重程度の外力に対するものであつて、さらに大きい荷重、または破壊の近くにおいては、その立体的結合が破れて、本来の平面構造の組合せにもどるはずである。換言すれば、わが国現行の橋梁構造では、たとえ応力測定の結果、立体構造的力の配分が確認されても、これはその試験荷重程度の外力に対するものであつて、設計荷重ないし破壊荷重の附近では、やはり平面構造としての力の配分に帰することになる。

他方構造物の安全性、経済的設計の点から考えて、外力に抵抗するために立体構造が必要なならば、すなわち立体的に応力が分布する構造を考えるべきである。前に述べたとおり、現行の平面構造の組合せから期待できる立体的力の配分は、終局的のものであり得ない。このように考えるとき、立体構造は立体的外力に対して力学的に有効であるが、その力学的解析において簡潔明確なものが最も望ましい。これらの条件を満足するものが箱桁構造を用いた橋梁構造である。これは安全性の点からいっても、平面構造では最終力材と

* 土木学会中部支部・昭和 28 年度研究発表会 (金沢) において一部発表

** 岐阜市立工業高等学校長