
鋼管柱支承用 RC 桁の耐荷力

Bearing Strength of Concrete Beam Supporting Tube Column

菊川 春三(Shunzo Kikukawa) 村田 勝弘(Katsuhiko Murata) 西堀 忠信(Tadanobu Nishibori)

要旨：

地下鉄用支柱を対象として開発したリバーコラム（Iタイプ）は従来製品とは異なり、支圧板に等厚断面を採用している。このため、支柱支承用桁耐荷力の安全性確認と、従来習慣的に行われていたに過ぎない桁補強法の改良を目的とした桁の強度試験を実施した。実験は、まず、無筋コンクリート桁を対象とし、鋼管柱各部の寸法諸元をパラメータとした基礎実験で桁耐荷力が鋼管柱と支圧板形状に関する一つのパラメータで表し得ることを明らかにした。次に鉄筋配置位置を変化させた RC 桁の耐荷力試験を通じ、桁耐荷力に与える鉄筋補強量の影響を量的に把握するとともに、施工性に富んだ新補強法を提案した。

Synopsis：

RIVER COLUMN (I-type) developed for use as a subway tube column has two flat type base plates which are different from conventional ones. Therefore, the authors investigated the bearing strength of RC beams supporting columns, and developed a new method for reinforcing beams relating to the positioning of reinforcement bars. Tests were conducted, at first, to confirm the relationship between the bearing strength of the beam and the dimensions of columns using small test specimens. From these tests, it was clarified that the bearing strength of concrete beams without reinforcement could be determined with only one parameter concerning column-baseplate proportion. Tests were also conducted using RC beams to confirm the effect of this new method of reinforcing beams. Through these tests, it was concluded that the bearing strength of RC beams can be calculated exactly with the new method and the safety of the new method is adequate enough to allow the design of column-beam connections.

(c)JFE Steel Corporation, 2003

本文は次のページから閲覧できます。

鋼管柱支承用 RC 桁の耐荷力

Bearing Strength of Concrete Beam Supporting Tube Column

菊 川 春 三*
Shunso Kikukawa

村 田 勝 弘**
Katsuhiro Murata

西 堀 忠 信***
Tadanobu Nishibori

Synopsis:

RIVER COLUMN (I-type) developed for use as a subway tube column has two flat type base plates which are different from conventional ones. Therefore, the authors investigated the bearing strength of RC beams supporting columns, and developed a new method for reinforcing beams relating to the positioning of reinforcement bars.

Tests were conducted, at first, to confirm the relationship between the bearing strength of the beam and the dimensions of columns using small test specimens. From these tests, it was clarified that the bearing strength of concrete beams without reinforcement could be determined with only one parameter concerning column-base plate proportion.

Tests were also conducted using RC beams to confirm the effect of this new method of reinforcing beams. Through these tests, it was concluded that the bearing strength of RC beams can be calculated exactly with the new method and the safety of the new method is adequate enough to allow the design of column-beam connections.

1. 序 言

鋼製の支柱構造物では、支柱とこれを支持する RC 支承部間に鋼製支圧板を設け、鋼とコンクリートといった異種構造部材間の応力伝達円滑化を図るのが一般的である。当社が地下鉄用鋼管柱を対象として開発したリバーコラム (I タイプ)¹⁾ は支圧板に等厚断面の円形板を採用していることから、支圧板断面が台形状である従来製品と比較して、支柱支承用 RC 桁への応力伝達機構や支圧耐荷力

が異なることが予想される²⁾。また、支圧板の寸法諸元が耐荷力に及ぼす影響も不明である。

本研究は上記の事項に鑑み、鋼管と支圧板の寸法諸元をパラメータとして、小型の無筋コンクリート桁を用いた耐荷力実験を行い、支圧応力度分布特性の把握と耐荷力に及ぼす鋼管柱の寸法効果を定量化した。さらに、小型ならびに大型の RC 桁を用いた同様の実験を通じ、リバーコラム用円形等厚支圧板に適した桁補強法を開発したので、ここに報告する。

* エンジニアリング事業部構造技術研究所構造研究室主任
研究員 (掛長)

*** 大阪市立大学工学部土木工学科助教授

〔昭和57年6月9日原稿受付〕

** エンジニアリング事業部土木技術部土木技術室主査 (部長補)

2. 小型コンクリート桁の耐荷力実験

2.1 概 要

供試模型桁の形状を Fig. 1 に示す。コンクリートは計 3 回にわたり打設したが、示方配合は次のように統一した。

最大骨材寸法：25mm

スランプ：8 cm

空気量：1.5%

水セメント比：50%

単位セメント量：322kg/m³

Table 1 Mechanical properties of concrete beams

Specimen lot	σ_c (MPa)	E_c (MPa)
A	22.2	225.6
B	15.6	—
C	18.1	—

σ_c : Maximum compressive strength, E_c : Young's modulus

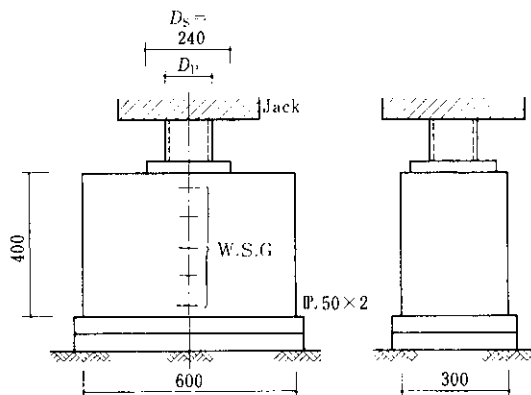


Fig. 1 Bearing test apparatus for small type test model

Table 2 Mechanical properties of base plates

Specimen lot	Y.P. (MPa)	T.S. (MPa)	Elongation (%)
A for t_s = 8, 12, 16mm	382.5	539.4	26
B for t_s = 20, 24mm	353.0	519.8	27
C for t_s = 36, 48mm	343.2	529.6	33

Table 3 Small type concrete beam models

Base plate		Tube column		Lot of concrete
D_s (mm)	t_s (mm)	D_T (mm)	D_T/D_s	
240	8	108	0.45	B
	12			A
	16			B, C
	20			B
	24			A
	36			A
	48			A
240	8	132	0.55	B
	12			A
	16			B
	20			B
	24			A
	36			A
	48			A, B, C
240	8	156	0.65	B, C
	12			A
	16			B
	20			B, C
	24			A, B, C
	36			A
	48			A, B, C

D_s : Diameter of base plate, t_s : Thickness of base plate, D_T : Diameter of column

これらの強度試験結果を **Table 1** に示す。

支圧板は SM50B を使用し、3 種のロットの鋼板から切削のうえ、支厚板厚 t_s を 7 種類変化させた (**Table 2** 参照)。表面粗さは JIS B 0601 25 μ m Rz である。

実験は t_s のほか、鋼管柱外径 D_p と支圧板径 D_s の比、 D_p/D_s 3 種をパラメータとし (**Table 3** 参照)、計 34 体の模型桁について実施した。模型桁への加力は 300 トン 構造物試験機を用いた単調圧縮载荷とし、加力中の供試桁側面の亀裂伸展状況や支圧

板の半径方向ひずみ分布等を測定しつつ、崩壊まで実施した。

2・2 結果と考察

実験結果の一覧を **Table 4** に示す。 t_s の増大につれ、耐荷力が上昇する傾向がうかがえるが本表からは D_p/D_s との関係が定かではない。

Fig. 2 は支圧板と鋼管の半径差、すなわち、 $r_s = (D_s - D_p)/2$ を支圧板の鋼管壁からの突出長と定義し、 t_s との比 t_s/r_s と支圧強度の関係を図示し

Table 4 Bearing test results of concrete beam models

D_p/D_s	t_s (mm)	σ_c (MPa)	Bearing strength* σ_{cb} (MPa)	σ_{cl}/σ_c
0.45	8	15.6	17.5	1.12
	12	22.2	24.8	1.47
	16	15.6	23.2	1.49
	"	18.1	21.8	1.20
	20	15.6	24.4	1.57
	24	22.2	44.3	2.00
	36	"	51.0	2.30
	48	"	55.3	2.50
0.55	8	15.6	17.1	1.10
	12	22.2	33.8	1.53
	16	15.6	24.6	1.58
	20	18.1	28.9	1.60
	24	22.2	51.8	2.34
	36	"	53.3	2.41
	48	"	37.1	1.67
	"	15.6	32.7	2.10
	"	18.1	30.8	1.70
0.65	8	18.1	25.0	1.38
	"	15.6	25.7	1.65
	12	22.2	48.3	2.18
	"	18.1	32.3	1.78
	16	15.6	29.9	1.92
	20	"	28.1	1.80
	"	18.1	32.8	1.81
	"	"	31.2	1.72
	24	22.2	40.9	1.84
	"	15.6	29.2	1.87
	"	18.1	32.7	1.80
	"	"	33.1	1.83
	36	22.2	54.9	2.48
	48	"	48.1	2.17
	"	15.6	33.1	2.12
	"	18.1	40.9	2.26
	"	"	36.0	1.98

* Quotient of maximum load divided by base plate area

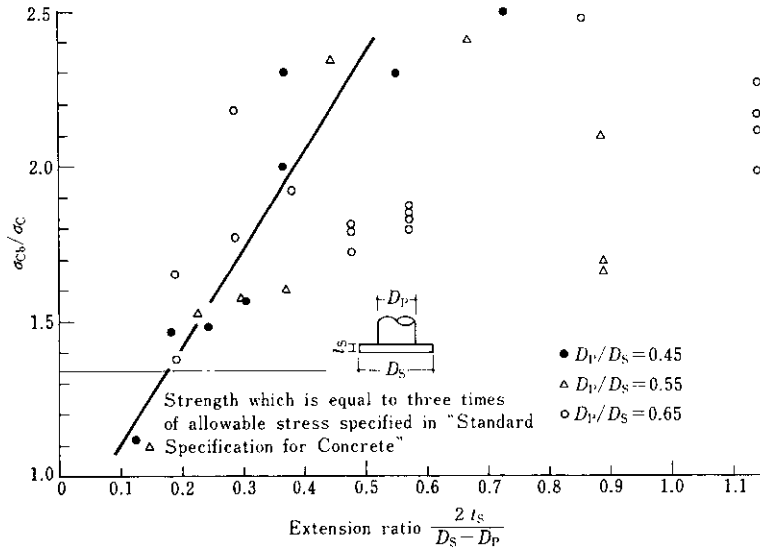


Fig. 2 Test results of small concrete beam models

たものである。本図から、 t_s/r_s が0.12から0.44の範囲では、支圧強度は t_s/r_s に対応して上昇することがわかる。また、 $t_s/r_s \geq 0.18$ であれば、コンクリート標準示方書³⁾の要求強度を満足することが明らかである。

この一方、 $t_s/r_s > 0.44$ の範囲では強度の増大傾向は鈍化するとともに、ばらつきも大きくなっている。この原因として、 t_s の増大につれ支圧板の剛性が増加し、支圧板端部へ支圧反力が集中すること⁴⁾、および、 t_s の増大に伴い支圧板剛性が高荷重まで維持され、支圧板の変形による応力集中の緩和が期待できない結果、鋼に比して延性に乏しいコンクリートは亀裂を生じやすくなるといった理由が考えられる。事実、支圧板の半径方向ひずみ測定値をもとに、支圧応力度分布を支圧板中心からの半径方向の距離に関する4次元の最小2乗法で推測した結果(Fig. 3)、支圧応力度は t_s の増大につれ、端部に集中する傾向が顕著に認められた。

以上の実験事実を考えあわせれば、 t_s を必要以上に大きくすることは不経済であるほか、さほどの安全率上昇を見込めないといえる。支圧板の適正規模は、Fig. 2において、耐荷力のばらつきが比較的小さく、かつ、支圧応力度に関するコンクリート標準示方書の規定値を満足することから、 $t_s/r_s = 0.20 \sim 0.45$ の範囲と考えられる。

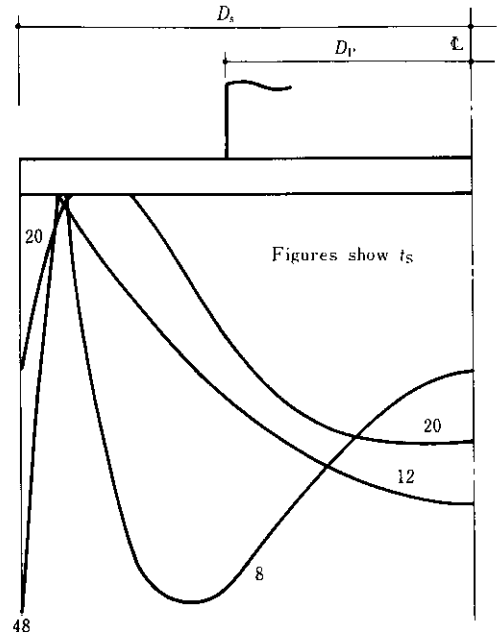


Fig. 3 Bearing stress distributions obtained from bearing tests of small type concrete beam models ($D_P/D_S = 0.55$)

なお、加力中のひび割れについては、斜ひび割れがいずれの模型桁でも785～883 Nの段階で桁側面中央、1/2高さ付近に生じた。この後、荷重増加に伴い、ひび割れは斜上下両方向に長さ、幅と

もに伸展, 増大し, ついには桁上下縁に到達, ひび割れに沿ってずれが生じ, 破壊に至った。

3. 鉄筋を用いた桁耐荷力の検討

3-1 鉄筋の配置方法

前章では, 桁に生じた斜ひび割れが伸展し, ついには崩壊に至る現象を確認した。この現象は, 桁耐荷力の向上には斜ひび割れの防止が有効であることを示唆している。RC 桁では, 通常, 斜ひび割れはスターラップで防止する設計が一般に多用されており, 経験が豊富なことから, 施工上の

難点が少ないと判断し, スターラップ形式を積極的に多用して支圧耐荷力を向上させる方法の検討に着手した。

Fig. 4 は以上の考えに基づいて製作した小型 RC 桁の配筋図で, 主筋やスターラップに類似の格子状筋数量と配置位置をパラメータとした。

試験数は各 1 体, 計 8 体であり, $D_p/D_s=0.55$, $t_s=24\text{mm}$ と統一した。実験要領は前章と同様である。供試素材はコンクリートと支圧板がそれぞれ Table 1 の A, Table 2 の B と同一ロットである。また, 鉄筋は SD 40 (D 16: Y.P.=528.6 MPa, D 10: Y.P.=443.3 MPa) を使用した。

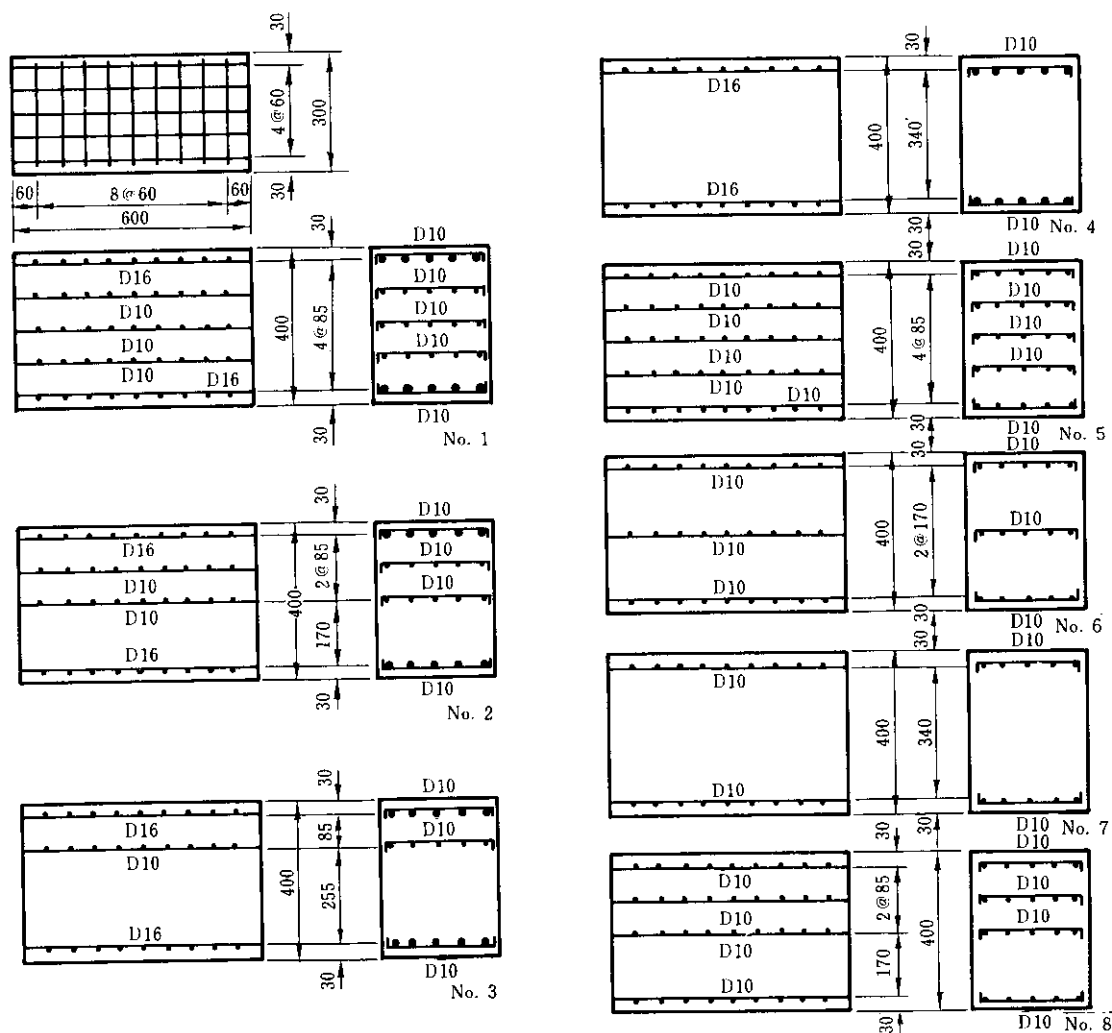


Fig. 4 Small type RC beam models

3・2 結果と考察

結果を Table 5 に示す。参考のため、無筋コンクリート桁模型体のうち、同一寸法諸元(No. 9)の結果も併示する。

RC桁は無筋の場合より、当然ながら、高荷重で破壊した。鉄筋の補強程度は鉄筋比で一般的に表現されるので、耐力と鉄筋比との関係を調査した。Fig. 5はこの結果であるが、D10とD16鉄筋を組み合わせた場合と、D10のみの場合とで、2様の相関が得られた。本現象は、桁の膨張変形を抑えてコンクリートのひび割れを防止するといった鉄筋の拘束効果が鉄筋配置高さ方向に変化することが原因と考えられる。仮に、支圧を受けた桁の膨張変形が桁の1/2高さで最大、かつ、桁上下縁で0となる放物線状になるとすれば、鉄筋の拘束効果もまた、桁の変形量に対応すると考えられる。この拘束効果を従来一般的な物理量である鉄筋比を修正した有効鉄筋比 p_e で表現すると

$$p_e = \sum_{i=1}^n p_i \left\{ 1 - \left(\frac{2y}{h} \right)^2 \right\} \dots \dots \dots (1)$$

となる。

ここに

n : RC 桁断面の各高さ位置に配置される鉄筋群の数

p_i : RC 桁断面の各高さ位置ごとの鉄筋群で算定する鉄筋比

h : 桁高さ

y : 桁中央高さから、各鉄筋群までの距離

Fig. 6 はこのようにして計算した有効鉄筋比と

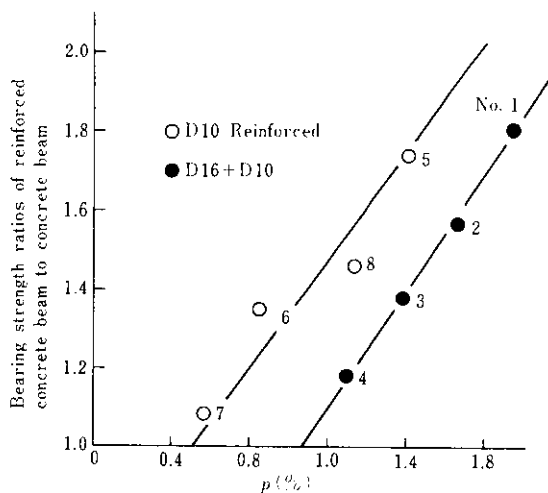


Fig. 5 Bearing strength vs. rate of reinforcement, p , of RC beam models

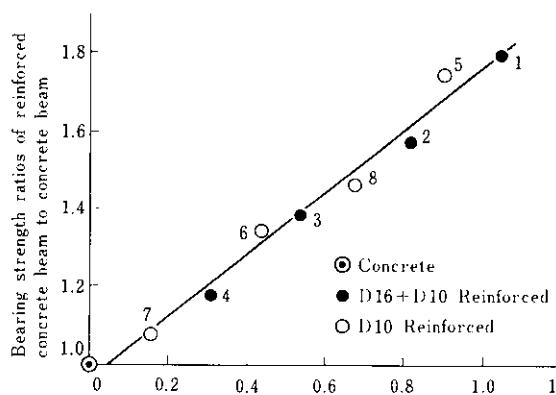


Fig. 6 Bearing strength p_e (%) vs. rate of effective reinforcement, p_e , of RC beam models

Table 5 Bearing test results of small type RC beam models

Specimen No.	Rate of reinforcement p (%)	Rate of effective reinforcement p_e (%)	Bearing strength σ (MPa)	Ratio to No. 9
1	1.94	1.05	93.6	1.81
2	1.66	0.82	81.5	1.57
3	1.38	0.54	71.5	1.38
4	1.10	0.30	60.9	1.18
5	1.41	0.90	90.3	1.74
6	0.85	0.44	69.7	1.35
7	0.56	0.16	55.9	1.08
8	1.13	0.67	75.5	1.46
9	0.00	0.00	51.8	1.00

耐荷力の関係を示したものであるが、両者は鉄筋径に無関係に、1本の直線で近似しうることから、支圧耐荷力は鉄筋の配置高さを考慮した有効鉄筋比で整理できるといえる。

4. 大型 RC 桁の耐荷力

RC 桁の支圧耐荷力に関して前章までに得られた所見を最終的に確認すべく、実物の 1/3 スケール程度の大型 RC 模型桁を対象とした耐荷力実験を行った。供試模型桁は Fig. 7 に示す構造と配筋を変えた計 6 体である。このうち、No. 1, 2 は桁長さの影響を主に調査する目的で、小型模型桁を大型化したものである。一方、No. 3~6 は桁周辺のスラブの影響を加味した台形断面形状とし、より実際に近い形での桁耐荷性能の把握を企図した。さらには、従来の補強法と比較するため、格子状筋タイプ (No. 3, 4) のほかに、従来一般的なラセン鉄筋タイプ (No. 5, 6) をもあわせ試験した。これら供試模型桁の一覧を Table 6 に示す。

実験は 1000 トン構造物試験機を用い、小型実験と同様、耐圧盤上に設置した模型桁を鋼管柱模型 ($D_p=176\text{mm}$) を介し、破壊に至るまで単調圧縮載荷した。

実験の結果を Table 7 に示す。これらの桁の設計荷重 P_{a1} はコンクリートの標準強度 $\sigma_{ck}=26.5\text{MPa}$ として、コンクリート標準示方書に基づき、許容応力度を $\sigma_a=0.3\sigma_{ck}$ とした場合、 $P_{a1}=709.8\text{kN}$ と計算されるが、実験の結果得られた最大荷重は支圧と対する補強がほとんどなされていない No. 1 を除き、 P_{a1} の 8 倍以上の耐荷力を示しており、きわめて安全性が高いことが明らかである。

ところで、大型模型桁の耐荷力については、小

型模型実験結果と既往の研究結果とを参考にして、次の要領で予測を試みた。

まず、Fig. 2 より、模型桁は鋼管と支圧板の形状比に応じて、支圧に対する何らの補強なしに、コンクリートの材料強度 σ_c を上回る耐荷力を有すると考えられる。この支圧強度 σ_{cb} は Fig. 2 において、鋼管と支圧板の形状比である t_s/r_s が小さな領域 ($0.12\sim0.44$) で t_s/r_s に比例すると仮定し、最小 2 乗法を用いて整理すると次式を得る。

$$\sigma_{cb} = (3.13 \cdot \frac{t_s}{r_s} + 0.79) \sigma_c \quad \cdots \cdots (2)$$

次に、格子状筋で補強した場合、Table 5 の小型 RC 桁の実験結果から、有効鉄筋比 p_e と耐荷力の関係をさらに一般化して、コンクリートと鉄筋の材料強度の影響を加味した有効鉄筋係数 q_e で再整理すると、次式を得る。

$$\sigma_{c \max} = (2.17 q_e + 1.01) \sigma_{cb} \quad \cdots \cdots (3)$$

ここに

$\sigma_{c \max}$: 格子状筋で補強した桁の支圧強度

$$q_e = \frac{\sigma_{sy}}{\sigma_c} \cdot p_e$$

σ_{sy} : 鉄筋の降伏点応力度

Table 7 Bearing test results of large type RC beam models

No.	$P_{a1}(\text{kN})^{1)}$	$P_e(\text{N})^{2)}$	$P_c(\text{N})^{3)}$	P_e/P_{a1}	P_e/P_c
1		4 158.0	4 326.7	5.86	0.96
2		5 815.3	5 807.5	8.19	1.00
3	709.8	5 795.7	5 672.2	8.16	1.02
4		7 404.0	5 982.1	10.43	1.24
5		6 766.6	5 969.6	9.53	0.97
6		8 335.7	6 772.5	11.74	1.23

1) Allowable load assuming that allowable stress of concrete is 8.83 MPa

2) Maximum bearing strength obtained from tests

3) Calculated maximum bearing strength

Table 6 Large type RC beam models

Specimen No.	σ_c (MPa)	Reinforcement method	Base plate			Steel bars	
			D_s (mm)	t_s (mm)	Y.P. (MPa)	Class	Y.P. (MPa)
1	21.4	Grid type reinforcing		32			
2	22.7	"		32		SD35	
3	26.5	"		25		D 25	347
4	25.9	"		"		D 19	356
5	26.5	Spiral type reinforcing		"		D 13	380
6	24.6	"		"			

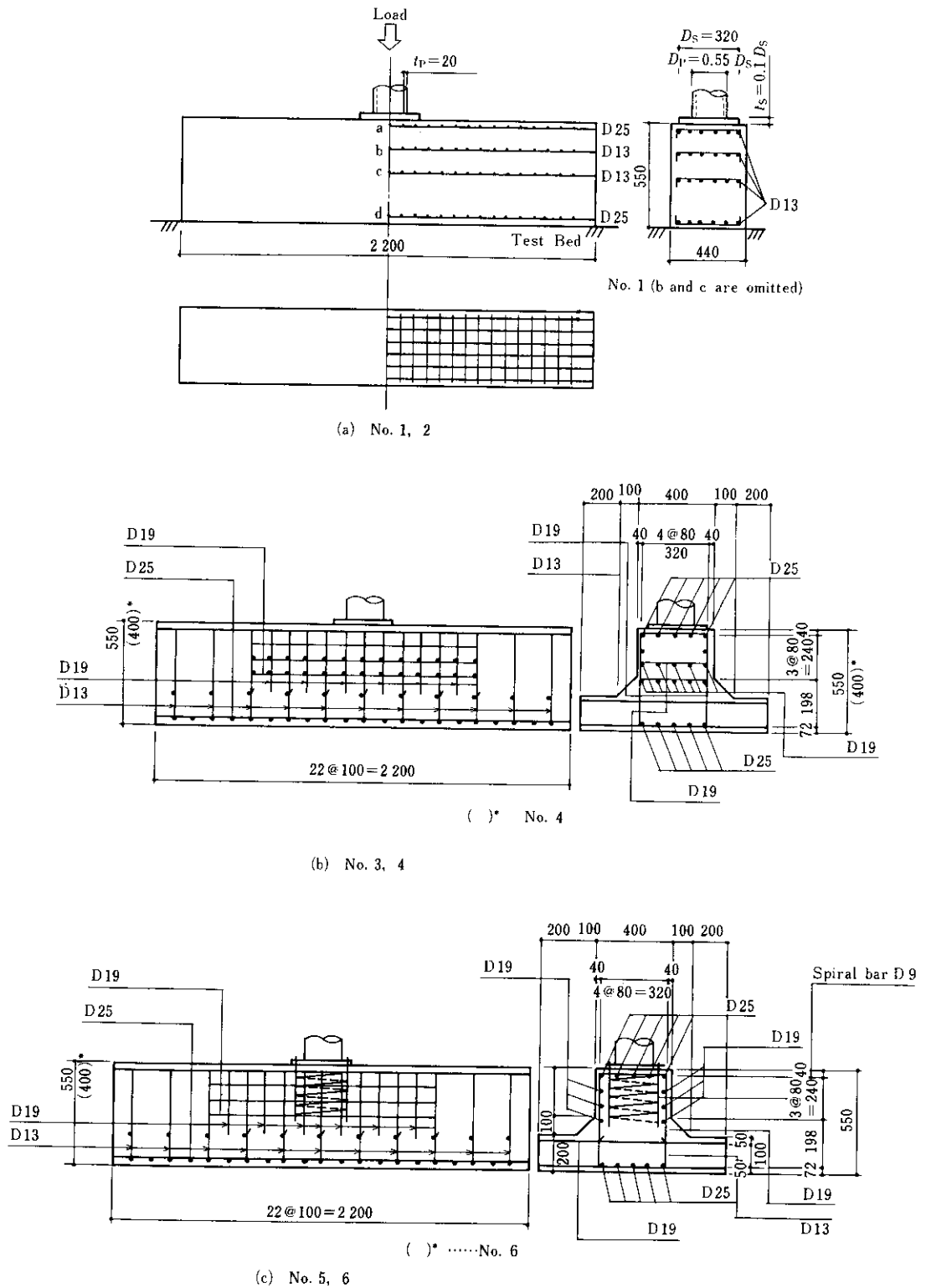


Fig. 7 Large type RC beam models

No. 1～4については、上記(2)、(3)式を用いて耐荷力を計算した。一方、ラセン鉄筋で補強したNo. 5, 6については、(2)、(3)式の計算結果にラセン鉄筋柱の計算耐荷力⁵⁾を重ねさせた。以上の計算では、桁高さは桁の全高さをとり、桁幅については、スラブ部を無視した長方形断面と仮定した。

以上の計算の結果、得られた予想耐荷力は実験値とよく一致しており、これらの耐荷力の推定法が十分設計に適用できるものと考えられる。

5. 結 語

本実験で得られた所見を以下に列挙する。

(1) 従来の剛な支圧板にかえて、比較的柔な支圧板を用いてコンクリートの支圧強度を調査したところ、強度は支圧板の突出長 r_s と厚さ t_s の比に

比例して上昇することを明らかにし得た。この突出長比 t_s/r_s が過大になると、逆に、支圧板端部への応力集中が顕著になり、強度はかえって低下する。したがって、実用上、突出長は板厚の2～10倍とすべきである。

(2) 鉄筋で支圧補強する場合、桁の弾性的膨張変形を拘束する位置に配筋することにより、効果的に桁の支圧耐荷力を向上させることが可能である。この拘束効果が桁1/2高さで100%、桁上下縁で0%の放物線状になると仮定して計算した有効鉄筋比や有効鉄筋係数を用いると、桁の耐荷力を実用上、十分な精度で予測できる。

(3) 大型 RC 桁を用いた耐荷力実験の結果、通常の設計では、支圧に対する安全率が6以上あり、ラセン鉄筋と格子状筋を用いる支圧補強法は実用上、ともに十分な効果を有することを実証した。

参 考 文 献

- 1) 菊川春三ら：「地下鉄用鋼管柱リバーコラム（Iタイプ）の開発」、川崎製鉄技報、13（1981）1、172—178
- 2) 渡辺 健：「地下鉄シールド駅の構造設計に関する研究」、東京大学学位論文、（1973）、103—115
- 3) 土木学会編：「コンクリート標準示方書」、（1974）、43、〔土木学会〕
- 4) 土質工学会編：「土質工学ハンドブック」、（1966）、111—134、〔博報堂〕
- 5) 横道英雄ら：「鉄筋コンクリート工学」、（1971）、178—183、〔共立出版〕