

函館工業高等専門学校 正員 藤井 卓
北海道開発局土木試験所 正員 松尾徹郎
北海道開発局土木試験所 正員 太田利隆

目的 近年確率論に基づいた限界状態設計法が指向され、筆者らも材料強度、鉄筋腐食量、自動車通過位置をランダム値とし、破壊形式に基づいて極限解析を行ない、シミュレーションモデルを用いて既設RC橋の耐荷力を算定する方法を提案した。本文は昭和43年以来北海道で廃橋となり取壊されたRC橋20件の調査結果からコンクリート強度、鉄筋降伏点強度、鉄筋引張強度に検討を加え、既設RC橋耐荷力算定の基礎資料を得ることを目的としたものである。

調査橋の概要 調査橋の概要を表-1に示す。大正15年「道路構造に関する細則(案)」(以下細則)により、昭和初期に設計施工された橋ノ4橋(丁橋)昭和44年「鋼道路橋設計製作示方書(案)」(以下内示)により昭和20年代に設計施工された橋5橋、昭和31年「鋼道路橋設計示方書」(以下鋼示)により設計施工された橋ノ橋である。廃橋となった理由は道路線形の改良のほか海岸橋に鉄筋腐食による耐荷力不足、内陸橋は東害などである。

コンクリート 細則、内示の規定は橋梁に使用するコンクリートについて、その配合も容積配合で1:2:4とすること、セメントの単位容積重量を $1,500 \text{ kg/m}^3$ とすることと定め、設計基準強度 40 kg/cm^2 (内示では実験により確かめられた 75 kg/cm^2)としている。土木学会コンクリート標準示方書から容積配合が除かれコンクリートの設計基準強度又は耐久性から定まる永セメント重量比により配合が決定されることになったのは昭和24年であるが、この考え方が一般の現場にゆきわたるまでなお数年経過したようである。このようにコンクリートの配合について統一が図られているにもかかわらず、表-1に示ればコンクリート強度の差が著しい。

表-1 調査橋の概要

橋名	架設年	設計荷重	形式	支間 (m)	有効幅員 (m)	コンクリート圧縮強度(kg/cm^2)			鉄筋 径 (mm)	鉄筋引張強度(kg/mm^2)			鉄筋降伏点強度(kg/mm^2)		
						数	平均値	標準偏差		注2) 本数	平均値	標準偏差	本数	平均値	標準偏差
T-1	1937	細則 3種	連続	2@7.3	5.00	5	201	56	16	14	47.9	2.3	14	36.4	2.0
T-2	1935	2	連続	13.7+	5.50	3	169	9	22	74	39.4	2.8	73	24.3	1.3
T-3	1936	3	単純	2@14.0+13.7	5.50	18	378	88	28	15	36.8	1.3	5	24.3	0.7
T-4	1935	2	ラメン	5.3	5.50	3	403	100	16	7	41.3	1.4	7	28.0	0.6
T-5	1935	2	ラメン	11.2	5.50	3	403	100	25	217	48.2	2.1	26	32.1	2.0
T-6	1936	2	ラメン	4@9.7	5.50	11	137	26	25	15	45.1	0.9	15	29.7	1.5
T-7	1928	1	ケルバー	9.0	5.56	12	409	90	25	10	38.4	2.8	10	27.0	1.4
T-8	1930	1	ラメン	9.2+	5.72	16	283	52	25	11	42.7	2.8	11	29.8	2.2
T-9	1934	2	ラメン	2@12.5+9.2	5.42	13	207	47	22	11	43.6	1.5	10	30.4	0.7
T-10	1926	2	ラメン	9.1	5.00	13	282	38	28	41	47.5	1.9	41	30.9	1.5
T-11	1932	1	単純	12@14.5	5.00	13	282	38	32	7	35.9	0.6	7	24.2	1.3
T-12	1936	2	ラメン	12.6	6.50	12	312	54	28	9	41.2	0.8	8	25.8	0.9
T-13	1936	1	ケルバー	3@10.0	4.50	—	—	—	32	10	44.9	3.2	5	27.7	1.1
T-14	1936	2	単純	2@20.0	5.00	—	—	—	25	34	45.9	3.7	31	28.9	1.7
T-15	1936	1	ケルバー	12.0+	5.00	—	—	—	25	4	40.8	3.9	4	26.4	1.3
T-16	1936	1	ケルバー	15@16.0 12.0	5.00	—	—	—	28	23	41.4	3.2	22	27.5	1.6
T-17	1936	2	ラメン	155+18.1+15.5	5.50	12	247	39	32	30	39.5	1.7	24	25.3	1.2
S-1	1951	内示1等橋	単純	2@7.5	5.00	9	147	27	25	108 (9)	52.8	24.8	76	28.8	3.0
S-2	1953	1	ラメン	12.3	5.70	11	161	26	32	30	34.4	1.7	30	24.0	1.5
S-3	1951	1	ラメン	9.9	5.50	9	452	60	25	28 (1)	45.3	5.1	22	29.9	2.7
S-4	1953	1	ラメン	8.0	6.00	10	393	36	25	20 (3)	49.1	9.5	15	30.4	2.1
S-5	1953	1	ラメン	5@12.6	5.50	7	266	43	22	8 (5)	60.8	15.8	8	30.0	1.0
S-6	1956	鋼示1等橋	ラメン	6.5	6.00	—	—	—	32	29	36.2	3.1	23	23.9	1.9
S-7	1956	鋼示1等橋	ラメン	6.5	6.00	—	—	—	16	5	32.7	0.2	5	24.6	1.2

注1 引張強度 60 kg/mm^2 以上の高張力鋼は含まず。

注2 () は高張力鋼の本数

図-1はコアコンクリート平均圧縮強度と標準偏差の関係を示す。平均強度が高くなるに比例して標準偏差も大きくなるが、一定値に近づくという従来の説が、既設RC橋のコアコンクリートにもあてはまるようである。またこれまでの調査によれば既設RC橋の場合一般に鉄筋比が小さく、コンクリート強度の変動係数が30%程度までは耐力に影響を与えないので、ほぼ満足できる品質が保証されていると考えられる。

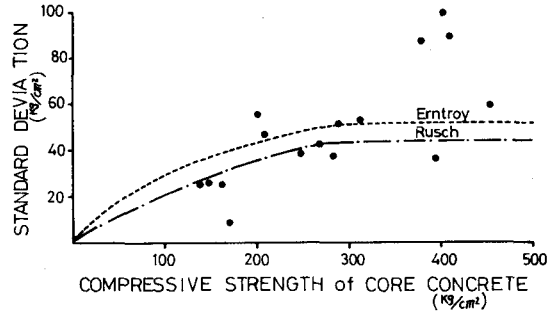


図-1 コアコンクリート強度と標準偏差

鉄筋 鉄筋コンクリート用棒鋼の材質として、

JES G24 (大正14年) JES G30 (昭和10年) では引張強度 $39 \sim 62 \text{ kg/mm}^2$, JES 金属 J101 (昭和20年) JIS G3101 (昭和27年) では $41 \sim 50 \text{ kg/mm}^2$ で大正14年以來大差はない。しかし表-1、図-2によればT橋とS橋では大きな差違がある。T橋には引張強度で規格を満足しないものやばりつぎを考えると不満足なものも存在するが各橋のばりつぎは少なく、品質管理は良好と思われる。これに対しS橋は高張力鋼の混用されているもの3橋、引張強度の不足するもの3橋で調査橋のすべてが何らかの欠点を有するものであった。しかし鉄筋コンクリート橋の耐力を考える場合、鉄筋の引張強度よりも橋梁に大変形をおこし使用不能となる降伏強度が重要な意味を有する。図-3は各橋から10本づつ鉄筋を取り出し試験した降伏強度である。T橋、S橋(高張力鋼は除く)をそれぞれロットとすれば、T橋の平均値 29.0 kg/mm^2 標準偏差 3.6 kg/mm^2 S橋の平均値 27.0 kg/mm^2 標準偏差 3.1 kg/mm^2 とする。

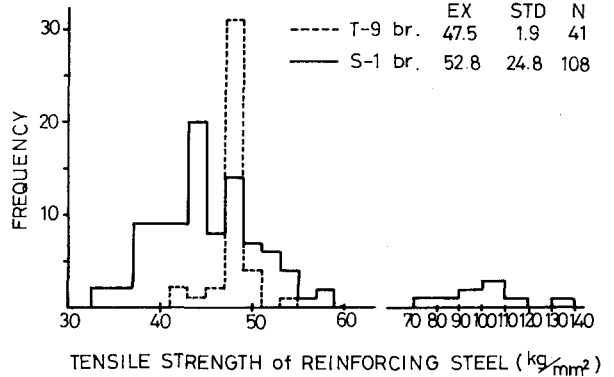


図-2 鉄筋引張強度の分布例

結論 調査の結果次のことが利用した。

コンクリート ①各橋により強度差が大きかったが、当時の設計基準強度は満足していた。②橋の耐力に影響を与える強度のバラツキは少なかった。

鉄筋 ①昭和初期の橋に用いられた鉄筋は引張強度で規格にあわないものもあったが、強度のバラツキは少なかった。②昭和20年代の橋では規格を完全に満足する鉄筋は用いられていなかった。③昭和初期、昭和20年代鉄筋をそれぞれロットとすれば、降伏強度はほぼ正規分布をなす。本調査を御指導いただいた前土木試験所コンクリート研究室長前川静男氏にあつくお礼申し上げます。

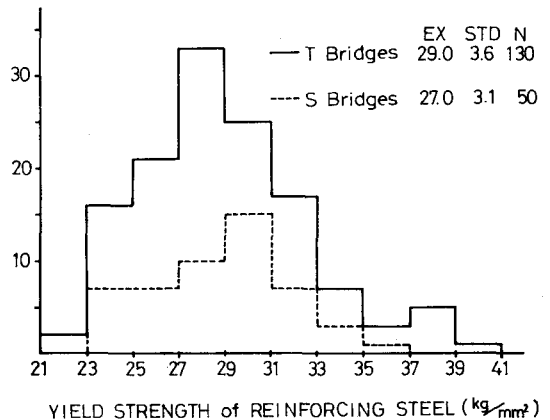


図-3 鉄筋降伏強度の分布

(文献)藤井他:シミュレーションによる既設鉄筋コンクリート橋の耐力評価, 土木学会論文報告集第26号
2) Teychenie: Recommendations for the treatment of the variations of concrete strength in codes of practice, Rilem Bulletin Vol.6 No.24/28
3) 前川他: 既設鉄筋コンクリート橋の耐力に関する一考察, 土木学会第27回年次学術講演会講演集