

神戸大学工学部 正会員○森川英典

神戸大学大学院 学生員 大山慎一

神戸大学工学部 正会員 宮本文徳

神戸大学大学院 学生員 北村敦彦

兵庫県土木部 正会員 竹内和美

1. まえがき コンクリート構造物の維持管理を合理的に行うためには、種々の品質検査法によりコンクリートの現況を把握するとともに、劣化メカニズムを解明してコンクリート品質の経年変化を評価することが必要であると考えられる。本研究では、後者の課題に対する基礎的なデータを得るために、架設後数十年を経た既存橋梁に対してコンクリート品質検査を行った結果をとりまとめるとともに、統計的な考察を行った。

2. 検査の概要 対象橋梁は兵庫県内のRC-T桁橋7橋で、橋齢は27～60年、河川改修工事や道路線形変更工事等に伴って架け替えが決定していた。検査対象箇所は図1に示すように各主桁のウェブコンクリート上部のひびわれ、シロツナ等が無い箇所で、ウェブを貫通するようにコア採取を行った。試験は圧縮強度、弾性係数の測定の後、フェノール系反応による中性化深さの測定を行った。特に、橋齢41年の橋梁については、図1に示すようにウェブを貫通したコンクリートコアを3つに切断し、それぞれ供試体の圧縮強度、弾性係数と両側の供試体の中性化深さを測定した。この橋梁は全長で38mの単純桁橋であったが、この内28mにおいて、各主桁毎に3～6箇所ずつコア採取を行った。

3. コンクリート品質の分布 表1に橋齢41年の橋梁に対して行った品質検査の結果と化学分析に基づく配合推定結果を示す。また写真1に代表的な測定結果を示す。この内、中性化部分を含んだ供試体の圧縮強度試験においては、中性化部分が載荷板による拘束範囲内にあるため、破壊は中性化していない部分で生じた。この結果から、採取された同一のコアに属する供試体については、圧縮強度、中性化深さともにほぼ同程度の値を示している。中性化部分を破壊面を含むような試験を行った場合、中性化に伴う組織の緻密化（細孔量の減少）により強度の増加が報告されているが^{1)・2)}、一方では、実構造物の炭酸化領域においてリ酸ナトリウム水和物の崩壊による組織の脆弱化が報告されており³⁾、炭酸化のコンクリート特性に及ぼす影響については、完全に解明されているとは言い難い。本供試体の場合でも中性化部分自身の強度は本実験結果と異なる可能性が考えられる。また同一橋梁であるにもかかわらず、コンクリート強度、中性化速度がかなりばらついており、各主桁間で比較すると、中性化深さが大きいものほど圧縮強度が小さくなっていることがわかる。また全体的に圧縮強度がかなり小さいものも多く、中性化深さもかなり大きくなっており、また単位体積重量が小さく、配合推定による単位セメント量が非常に少なくなっている。

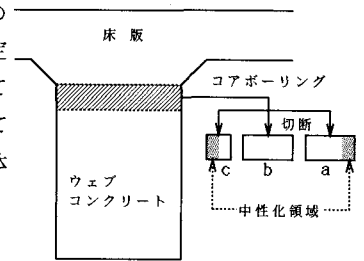


図1 コアボーリングの概要

表1 コンクリート品質検査の結果

採取位置	圧縮強度 kgf/cm ²	弾性係数 ×10 ⁵ kgf/cm ²	中性化深さ cm	単位体積重量 kgf/m ³	単位セメント量 kgf/m ³
スパン1	a 135.3	1.10	4.15	2196	288
	b 178.7	1.35	—	—	—
	c 112.4	—	3.17	—	—
	a 216.1	1.98	2.72	2274	235
	b 199.3	2.10	—	—	—
	c 150.2	—	6.50	—	—
スパン2	a 213.1	2.12	3.33	2266	239
	b 211.5	2.14	—	—	—
	c 170.1	—	3.42	—	—
	a 83.6	—	6.83	2160	170
	b 86.1	1.07	—	—	—
	c —	—	5.85	—	—
スパン3	a 131.2	1.43	5.06	2230	224
	b 132.4	1.45	—	—	—
	c 138.4	—	3.83	—	—
	a 99.1	0.87	5.85	2174	221
	b 88.0	—	—	—	—
	c 88.4	—	6.20	—	—

4. コンクリート中性化に関する考察 図2に、実橋において測定されたコンクリートの中性化速度係数と圧縮強度との関係を示す。これらの間には従来より言われているように負の相関が認められ、回帰式は次式で表される。

$$f_c = 248.0 \exp(-0.993A) \quad (\text{相関係数 } 0.742) \quad \text{----} \quad (1)$$

次に図3は各橋梁の橋齢とそれぞれの中性化速度係数との関係を示したものである。また図中には、岸谷式によって求められた水セメント比80%の場合の中性化速度係数も併記している。仮に、中性化速度が橋梁毎に一定で経年変化しないものとした場合、橋齢が大きい橋梁ほど中性化速度が大きいということになり、環境条件、荷重条件等がそれほど相違ないことを考慮すると、施工の品質(コンクリートの配合管理を含む)がかなり低かったものと考えられる。例えば、中性化速度の経年変化を考慮せず、岸谷式を仮に測定結果に当てはめて、対応する水セメント比を算定すると、橋齢41年の橋梁で157%と異常なものとなるが、これは表1の単位セメント量 170 kgf/m^3 をもとに標準的な仮定を設けて推定される水セメント比151%とほぼ一致する。また、鄭ら⁴⁾は、同一の水セメント比であっても、単位セメント量が少ないものほど、水酸化ナトリウム量が少ないうえに中性化速度が大きくなることを示しており、仮にこのような粗悪な施工が行われた場合、既往の中性化予測式を直接適用することが困難となる。またコンクリート劣化に伴う中性化速度の経年変化の可能性も考えられる。松井ら⁵⁾は、床版の疲労試験により、水を含んだ圧縮側コンクリートが繰返し载荷によって損傷劣化(コンクリートの骨材化)が発生することを明らかにしているが、主桁コンクリートについても繰返し载荷による劣化(マイクロラック等)がある程度発生し得ると考えると、これによる中性化速度の経年による増加が生じることになる。また水酸化ナトリウム水和物の崩壊の可能性も考慮すると、中性化速度の経年変化特性はさらに複雑なものとなり、今後、炭酸化によるコンクリート劣化メカニズムの解明とともに、さらに多数の実構造物における測定値を統計解析することにより、中性化の進行特性を明らかにする必要があると言える。

5. まとめ ①同一橋梁においてもコンクリート品質のばらつきは非常に大きい。②実橋におけるコンクリートの中性化速度と圧縮強度および弾性係数との間には、従来より言われているように負の相関が認められた。③橋齢の異なる実橋におけるデータの比較から、橋齢の高いものほど、中性化速度、水セメント比が大きいことが認められ、今後、材料劣化との関係を解明した上で、中性化速度の経年変化の可能性を検討する必要があると考えられる。

最後に、コンクリート分析についてご協力頂きました日本セメント(株)岡本享久氏、綾田隆史氏に深く感謝致します。

【参考文献】 1) 尼崎:コンクリートの諸特性に及ぼす炭酸化の影響に関する研究, コンクリート工学年次論文報告集, Vol. 6, 1984. 2) 佐伯・米山・長滝: 中性化によるモルタルの強度変化, 土木学会論文集, V-17/No. 451, 1992. 8. 3) 小林: コンクリート構造物の早期劣化と耐久性診断, 森北出版, 1991. 4) 鄭・平井・三橋: 中性化速度に及ぼすコンクリートの調合及び細孔構造の影響に関する実験的研究, コンクリート工学論文集, Vol. 1, No. 1, 1990. 1. 5) 松井・武藤・竹内: 重交通路線におけるRC床版損傷に対する疲労寿命評価と耐久性向上の一考察, 橋梁と基礎, 92-11, 1992. 11.

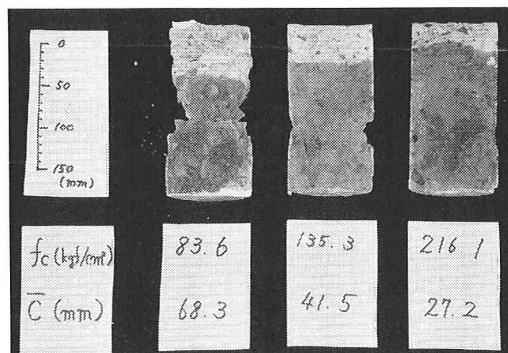


写真1 中性化深さ測定の一例

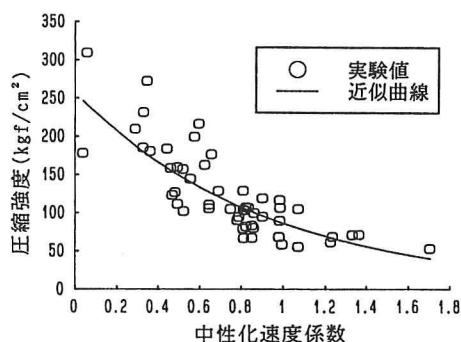


図2 中性化速度と圧縮強度との関係

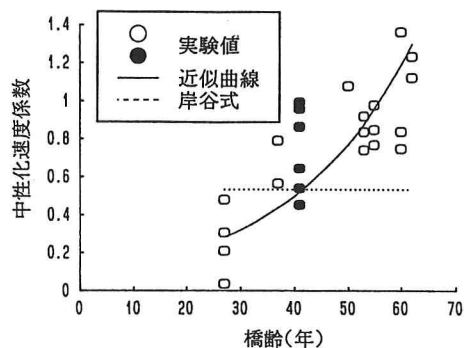


図3 橋齢による中性化速度の分布