

(37) コンクリートの弾性係数に関する検討
(マダガスカル共和国橋梁工事)

(株)ピー・エス 正会員 ○ 中井 将博
(株)長大 梶村 雄佑
(株)建設企画コンサルト 増井 徹美
大豊建設(株) 宮地 昭典

1. はじめに

本プロジェクトは、我が国のODA(政府開発援助)の無償資金協力によってトアマシナ近郊の国道2号線上の老朽化した3橋梁を、新橋に架け替える工事であった。その中の第3橋目のPK328橋梁は中央径間が95mある橋長255mのPC4径間連続箱桁橋である。この橋梁の張り出し施工においてたわみ管理は1つの重要な要因であった。そこで、トアマシナ地区で採取される骨材を使用したコンクリートの弾性係数に関し、骨材の物理的特性およびコンクリートの力学的特性の観点から検討を行った。骨材の物理的特性に関しては特に弾性係数に影響を及ぼす比重・吸水率等について試験を行い、コンクリートの力学的特性に関しては現場で簡易的に測定ができる共振周波数測定装置を用い、動弾性係数の計測を行った。以下のその報告を行う。

2. 検討の概要

1) 既往の算定式

動弾性係数と圧縮強度との関係が比較的明確になっており①～④にそれらの式を示す。また、主な基準に記載されている設計用弾性係数の式を⑤、⑥に示す。

①高野氏の実験式

$$E_s = 2.65 \cdot \sqrt{\sigma} \cdot 10^4 \quad \sigma: \text{コンクリート圧縮強度 (今回は材令 28 日)}$$

②樋口氏の式

$$E_s = (1.9 \cdot W/C + 1.3) \cdot 10^4 \cdot \sqrt{\sigma} \quad W/C: \text{水セメント比 (今回は 0.47)}$$

③高野(俊介)氏の実験式

$$E_s = 5.21 \cdot \sigma^{0.342} \cdot 10^4$$

④硬化コンクリートの性質:コンクリート技術の基礎,1972,日本コンクリート会議

$$E_s = 12500 \cdot \rho \cdot \sigma^{0.3} \quad \rho: \text{コンクリートの比重 (今回は 2.5)}$$

⑤ACI 363式

$$E_s = (40000 \cdot \sigma^{0.5} + 1000000) \cdot (\rho / 2.346)^{1.5} \quad (\text{psi})$$

⑥CEB-FIP式

$$E_s = \alpha \cdot 21500 \cdot (\sigma / 10)^{1.0} \quad (\text{N/mm}^2)$$

$\alpha = 1.2$: 玄武岩、硬質石灰岩 0.9: 石灰岩 (今回は 1.2 を使用)
1.0: 石英岩 0.7: 砂岩

2) 静弾性係数と動弾性係数との関係

高野、坂教授の研究より以下の事が明らかになっている。

①動弾性係数(E_d)は静弾性係数(E_s)より常に大となっている。

②($E_d - E_s$) / $E_s \cdot 100$ の値は材令が進むほど、水セメント比が少ないほど、圧縮強度が大なるほど、小さくなる。

③高野氏の実験では E_p/E_s は材令7日で1.4~1.6、28日で1.26~1.8、91日で1.21~1.45となっている。

3. 検討の結果

1) 使用骨材の物理的性質

今回使用された細骨材および粗骨材の表乾比重、吸水率および粗粒率を表-1に示す。粗・細骨材ともにJIS A 5004、JIS A 5005の規格値をほぼ満足し、良質な骨材であることがわかる。特に、粗骨材は密実であり比重の大きい成分で構成されているものと思われる。

2) 硬化コンクリートの力学的特性

硬化コンクリートの比重、圧縮強度(材令28日)、動弾性係数を下表に示す。各値は3個の供試体の平均値である。コンクリートの種類は、C350、C300、C210の3種類である。表-2より、比重は平均2.49であり、設計計算で用いられる無筋コンクリートの単位重量2.35に比較して0.14大きい値となっている。

表-2, 3, 4より動弾性係数は圧縮強度に比例することがわかる。

また、表-5は同じ生コン車から供試体を採取した結果である。これからも、材令28日で動弾性係数が低下しているものの、ほぼ圧縮強度に比例することがわかる。

表-1

	比重 (tf/m^3)	吸水率 (%)	粗粒率
細骨材	2.47	1.0	2.64
粗骨材	2.95	1.4	6.95

表-2

材令28日	比重 (tf/m^3)	圧縮強度 (kgf/cm^2)	動弾性係数 (kgf/cm^2)
C350	2.49	427	448000
	2.48	446	434000
	2.50	465	434000
	2.50	433	448000
	2.49	450	445000
C300	2.50	438	453000
	2.49	433	482000
	2.48	471	431000
	2.47	460	438000
	C210	2.52	421
2.46		404	—
2.49		467	—
2.48		421	—
2.48		377	—
平均値	2.49	438	445889

注) 早強セメント、設計基準強度350 kgf/cm^2 (C350)

表-3

材令28日	比重 (tf/m^3)	圧縮強度 (kgf/cm^2)	動弾性係数 (kgf/cm^2)
C300	2.45	321	406000
	2.44	354	424000
	2.47	329	417000
	2.47	342	418000
	2.46	338	417000
	2.45	385	414000
	2.45	381	424000
	2.46	376	436000
	2.45	330	414000
	2.45	329	408000
	2.45	347	407000
	2.47	351	423000
	2.47	394	438000
	2.48	386	440000
	2.45	371	427000
2.46	367	426000	
2.47	404	442000	
2.46	334	418000	
2.46	346	421000	
2.47	311	428000	
平均値	2.46	355	422400

注) 普通セメント、C300

表-4

材令28日	比重 (tf/m^3)	圧縮強度 (kgf/cm^2)	動弾性係数 (kgf/cm^2)	
C210	2.45	302	435000	
	2.47	254	403000	
	2.48	295	410000	
	2.48	289	402000	
	2.46	278	401000	
	2.48	292	401000	
	2.46	274	398000	
	2.47	261	398000	
	2.49	278	401000	
	2.48	240	352000	
	2.46	290	419000	
	平均値	2.49	278	402000

注) 普通セメント、C210

表-5

材令	圧縮強度 (kgf/cm^2)	動弾性係数 (kgf/cm^2)
3日	242	384000
7日	298	397000
14日	350	416000
21日	366	435000
28日	344	430000

注) 早強セメント、C300

3) 圧縮強度と動弾性係数との関係

(1) 既往の関係式との比較

圧縮強度と動弾性係数の関係を、上記既往の式(①~④)とともに図-1に示す。試験値の分布は、高野式 No.2 と最も相似することがわかる。

(2) 設計用弾性係数推定式との比較

前述の2.、2)、③より動弾性係数/静弾性係数の比は材令28日では1.26~1.8である。よって、図-1の試験値を比の中間値の1.5で除した値を静弾性係数とし、設計用推定式(⑤、⑥)と比較した。図-2にその結果を示す。ACI 363の式が比較的今回の試験値に合致しており、CEB-FIPの式は弾性係数を過大に算出する傾向にある。

4) 動弾性係数の経時変化

各供試体の材令3日、7日、14日、28日の動弾性係数の経時変化および圧縮強度との関係を図-3、4、5に示す(表-5参照)。

(1) 材令と動弾性係数との関係(図-3参照)

材令21日までは、10日で動弾性係数が約27500kgf/cm²の割合で直線的に増加している。

(2) 材令と圧縮強度との関係(図-4参照)

材令21日までは、圧縮強度は増加傾向にあるがその増加割合は減少している。

(3) 圧縮強度と動弾性係数との関係(図-5参照)

動弾性係数は圧縮強度350kgf/cm²までは直線的に増加し、それ以降は図-1とは異なりやや大きい増加が見られる。

5) 緊張時の桁のたわみからの弾性係数の推算

緊張時の桁のたわみを表-6に示す。緊張時の桁のたわみは、設計値19mmとほぼ近似した値であった。設計計算では弾性係数を280000kgf/cm²と仮定しており、たわみの平均値から逆算すると弾性係数は、285289kgf/cm²であった。また、前述の弾性係数推定式(⑤、⑥)を用い推算すると以下の通りとなる。

式-⑤: $E = 294087 \text{ kgf/cm}^2$

式-⑥: $E = 395334 \text{ kgf/cm}^2$

よって、圧縮強度からも弾性係数の概略値は式-⑤を適用すればやや大きめではあるが算定できる。

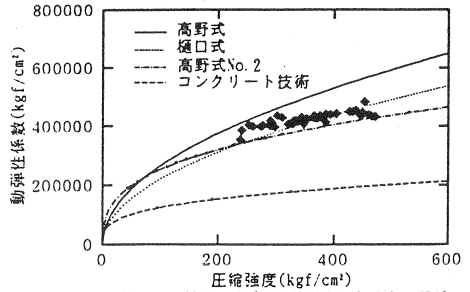


図-1 試験値と動弾性係数推定式との関係

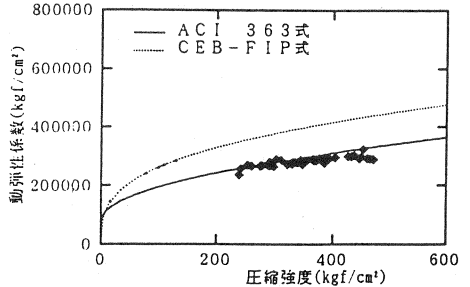


図-2 試験値/1.5と設計用弾性係数推定式との関係

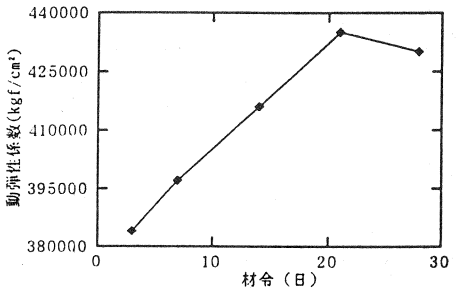


図-3 材令と動弾性係数との関係

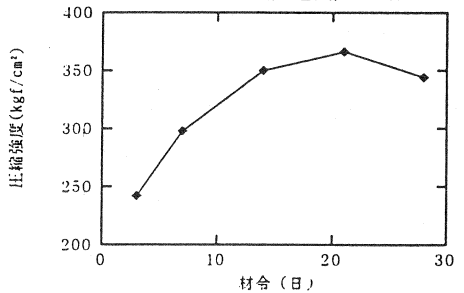


図-4 材令と圧縮強度の関係

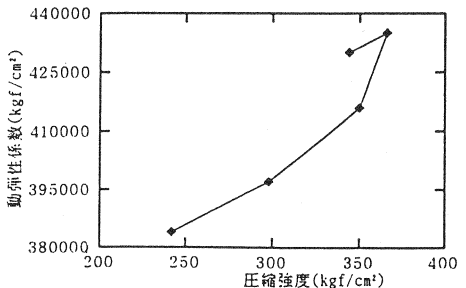


図-5 圧縮強度と動弾性係数との関係

最後に、桁のたわみから逆算した値、ACIの式から求めた値および道路橋仕方書の値を表-7に示す。これらより、本コンクリートにおいても日本の道路橋示方書に示される弾性係数の値を使用し、たわみ計算を行えばよいことがわかった。

4. おわりに

本論文はマダガスカル共和国の橋梁工事に使用されるコンクリートの弾性係数に係る調査を行い、長大橋のたわみ管理に役立てることを目的としたものである。本検討によって得られた結果を要約すれば以下ようになる。

①使用されたこの地区の粗骨材は、各試験の規格値を全て満足し、特に比重は2.95と通常日本で使用されている骨材のそれよりもかなり大きい値であり、品質に問題の無いことがわかった。

②動弾性係数推定式(高野式 NO.2)と良い相関を示し、圧縮強度から動弾性係数の可能であることがわかった。

③設計用弾性係数推定式(ACI 363式)と良い相関を示し、圧縮強度からある程度設計用弾性係数が推定できることがわかった。静弾性係数は、測定された動弾性係数を既往の係数で除し求め、その値と推定式との比較を行った。

④桁のたわみから逆算した弾性係数、供試体の圧縮強度から推定した弾性係数(ACI 363式)、道路橋示方書に示された弾性係数を比較した結果、それらはほぼ近似した値であり、本コンクリートの力学的特性(動弾性係数)に問題はないことがわかった。また、道路橋示方書に示される弾性係数の適用の妥当性が裏付けられた。

最後に、現地で終始技術的指導をして頂いた(株)長大、(株)建設企画コンサルタンの各位および情報の提供をして頂いた高知工科大学の島教授に深謝の意を表する。

参考文献

- 1) 社団法人日本コンクリート工学協会：コンクリート便覧 p.242
- 2) 社団法人日本セメント技術協会：コンクリートの非破壊試験法、コンクリートパンフレット第36号、pp18～33

表-6

	緊張時		
	圧縮強度 材令3日 (kgf/cm ²)	たわみ (mm)	弾性係数 (たわみから逆算した値) (kgf/cm ²)
1	364	20	269598
2	361	18	299553
3	371	19.5	276511
4	370	25	215678
5	406	17	317174
6	350	17	317174
7	328	17	317174
8	308	17.5	308112
9	308	19	283787
10	344	19	283787
11	315	19	283787
12	371	19	283787
13	325	18	299553
14	350	20	269598
15	316	18	299553
平均値	346	18.9	285289

表-7 (kgf/cm²)

	たわみから逆算した値	ACI式から求めた値 (圧縮強度より逆算)	道路橋示方書の値
弾性係数	285289	294087	295000