

委員会報告 (和文)

COMMITTEE

REPORT

【委員会報告】

コンクリート関係規準類における単位系の SI 化に関する検討 (報告)

A STUDY ON SUPERSEDING THE CUSTOMARY UNITS USED IN CURRENT SPECIFICATIONS FOR DESIGN AND CONSTRUCTION OF CONCRETE STRUCTURES BY SI-UNITS (REPORT)

コンクリート委員会・規準関連小委員会

Subcommittee for Concrete Standards, Concrete Committee

1. ま え が き

SI (エスアイ) は、正式には「国際単位系」と呼ばれる単位の略称であり、1960年の第11回国際度量衡総会において、その使用が採用・勧告された単位系である。

わが国では、上記の勧告が出された前年(1959年)に、計量法が改正され、メートル系単位の使用が始まっている。そして、SIの単位とメートル系の単位とが多くの場合に一致していたこともあり、メートル系は、そのまま、わが国における共通単位系として長い間使用されてきた。しかし、近年における国際化の進展に伴って、1971年にISO規格がSI化され、これに呼応する形で、わが国でも、1972年にJISのSI化の方針が出された。

また、1990年には、SI化を促進する目的で、日本工業標準調査会標準会議において、「平成2年度から5年間において、すべての規格でSIのみを規格値とすることを目標とする」との議決がなされた。この後者の方針に従い、建設関係では、鉄鋼、非鉄、溶接などのJISが既にSI単位に切り替わっており、コンクリート関係の全てのJISも平成7年3月31日までにSIに完全移行されることになっている。一方、わが国の計量法については、SIの採用を中心とした改正が本年5月に行われ、省令改正を待って、平成5年秋までにはSI単位への移行がなされる予定になっている。

建設の分野では、「現実的で体感可能な重力単位系」の「工学的意義」を理由に、SIへの完全移行に反対する意見は依然として根強い。しかし、一方では、JISのSI化が着実、かつ、急速に進められていることは事実であり、建設工事のための各種基準類の数値・単位がJISの数値・単位と一致しない事態が生じれば、これも非現実的で、工学的に望ましい状況でないことは明らかである。

そこで、コンクリート委員会規準関連小委員会では、SI単位系の是非は別の問題として捉え、SI単位系に関する内外の実態と動向、SIが導入された場合におけるコンクリート関係の基準類の対応策、などについて調査

研究することを活動課題の1つとして設定した。

この報告は、上記課題の任に当たったSI単位検討WGの報告書を要約したものである。なお、同WGの主査は宮本征夫氏((財)鉄道総合技術研究所)にお願いし、天野正喜(通産省工業技術院)、魚本健人(東京大学生産技術研究所)、宮井真一郎(運輸省港湾技術研究所)、森山陽一(日本道路公団)、山村正人(鹿島建設(株))、渡辺浩史(パシフィックコンサルタンツ(株))、渡辺忠朋((財)鉄道総合技術研究所)の諸氏には委員としてご尽力頂いた。ここに付記し、各位に深甚の謝意を表します。(規準関連小委員会委員長 山本泰彦)

2. SI 単位の導入の現状

(1) SI 単位とは

国際単位系(SI)は、JIS Z 8203-1985¹⁾において、「国際度量衡総会で採用され、勧告された一貫した単位系であり、基本単位、補助単位およびそれらから組み立てられる組立単位ならびにそれらの10の整数乗倍からなる。」と定義されている。基本単位および補助単位は、表-1に示すとおりである。組立単位は、基本単位および補助単位を用いて代数的な方法で(乗法・除法の数学記号を使って)表される単位である。基本単位から出発して表される組立単位の例を表-2に示す。なお、組立単位には、表-3および表-4に示す固有の名称をもつものもある。

(2) 計量法の動向

わが国で用いられている計量単位は、計量法によって規定されている。計量法では、1960年の国際度量衡総会でSIの使用が採用・勧告されて以来、逐次、SI単位を採り入れてきているが、非SI単位もそのまま法定計量単位として残されているので、使用されている非SIの計量単位も少なくない。

しかしながら、強まる国際化の情勢とわが国の国際的な役割の重要性の増大に伴い、計量単位の国際的な統一は時代のニーズであると共通認識されるようになっていく。このような情勢を踏まえ、計量行政審議会は、平成

表-1 基本単位および補助単位

	量	単位の名称	単位記号
基本単位	長さ	メートル	m
	質量	キログラム	kg
	時間	秒	s
	電流	アンペア	A
	熱力学温度	ケルビン	K
	物質質量	モル	mol
	光度	カンデラ	cd
補助単位	平面角	ラジアン	rad
	立体角	ステラジアン	sr

表-2 基本単位から出発して表される組立単位の例

量	単位の名称	単位記号
面積	平方メートル	m ²
体積	立方メートル	m ³
速さ	メートル毎秒	m/s
加速度	メートル毎秒毎秒	m/s ²
加数	毎メートル	m ⁻¹
密度	キログラム毎立方メートル	kg/m ³
電流密度	アンペア毎平方メートル	A/m ²
磁界の強さ	アンペア毎メートル	A/m
(物質量の)濃度	モル毎立方メートル	mol/m ³
比体積	立方メートル毎キログラム	m ³ /kg
輝度	カンデラ毎平方メートル	cd/m ²

表-3 固有の名称をもつ組立単位

量	単位の名称	単位記号	基本単位もしくは補助単位による組立単位または他の組立単位による組立単位
周波数	ヘルツ	Hz	1 Hz=1 s ⁻¹
力	ニュートン	N	1 N=1 kg・m/s ²
圧力, 応力	パスカル	Pa	1 Pa=1 N/m ²
エネルギー, 仕事, 熱量	ジュール	J	1 J=1 N・m
仕事率, 工率, 動力, 電力	ワット	W	1 W=1 J/s
電荷, 電気量	クーロン	C	1 C=1 A・s
電位, 電位差, 電圧, 起電力	ボルト	V	1 V=1 J/C
静電容量, キャパシタンス	ファラド	F	1 F=1 C/V
(電気)抵抗	オーム	Ω	1 Ω=1 V/A
(電気)コンダクタンス	ジーメン	S	1 S=1 Ω ⁻¹
磁束	ウェーバ	Wb	1 Wb=1 V・s
磁束密度, 磁気誘導	テスラ	T	1 T=1 Wb/m ²
インダクタンス	ヘンリー	H	1 H=1 Wb/A
セルシウス温度	セルシウス度または度	°C	(JIS Z 8203 の附属書の付表 4 の 4-2.1 参照)
光束	ルーメン	lm	1 lm=1 cd・sr
照度	ルクス	lx	1 lx=1 lm/m ²

表-4 人体の保健のために用いる, 固有の名称をもつ組立単位

量	単位の名称	単位記号	基本単位または組立単位による組立単位
放射能	ベクレル	Bq	1 Bq=1 s ⁻¹
質量エネルギー分与, 吸収線量	グレイ	Gy	1 Gy=1 J/kg
線量当量	シーベルト	Sv	1 Sv=1 J/kg

表-5 国際度量衡総会において暫定的に使用が認められている単位 (法定計量単位として継続使用される非 SI 単位)

計量単位	量の名称	用途
1. オングストローム*	長さ	光学, 結晶学に係る長さの計量
2. 海里*	長さ	海面・空中に係る長さの計量
3. アール	面積	土地面積用
4. ノット*	速度	航海・航空用
5. ガル**	加速度	測地学, 地球物理学に係る計量
6. バール	圧力	圧力測定
7. キュリー	放射能	放射能関連の計量
8. レントゲン	照射線量	"
9. ラド	吸収線量	"

注 * 現在, 使用範囲が特定用途に限定されている計量単位
 ** 特定用途に限定されて使用が認められる計量単位であるが, JIS では使用が認められていない。

表-6 現に国内外で広く使用されている単位 (法定計量単位として継続使用される非 SI 単位)

計量単位	量の名称	用途
1. カラット*	質量	宝石の質量の計量
2. もんめ*	質量	真珠の質量の計量
3. トン*	体積	船舶体積測定
4. 気圧*	圧力	標準大気圧表示
5. 水銀柱メートル	圧力	血圧測定
6. トル*	圧力	医療関連
7. カロリー	熱量	栄養関連
8. 点	角度	航海・航空に係る計量
9. ポアズ	粘度	粘度測定
10. ストークス	動粘度	動粘度測定
11. ピーエッチ(pH)	濃度	濃度測定
12. 質量百分率 (質量%)**	濃度	"
13. バール	無効電力	電力用
14. バール時	無効電力量	"
15. ボルトアンペア	皮相電力	"
16. ボルトアンペア時	皮相電力量	"

注 * JIS では使用が認められていない。
 ** その他同類の単位として, 次のものがある。
 質量千分率 (質量%), 質量百万分率 (質量 ppm), 質量十億分率 (質量 ppb), 体積百分率 (体積%), 体積千分率 (%), 体積百万分率 (体積 ppm), 体積十億分率 (ppb)

表一 法定計量単位から削除される計量単位

I (猶予期限 H. 7. 9. 30)		II (猶予期限 H. 9. 9. 30)		III (猶予期限 H. 11. 9. 30)	
計 量 単 位	量 の 名 称	計 量 単 位	量 の 名 称	計 量 単 位	量 の 名 称
1. ダイン	力の大きさ	1. ミクロン	長さ	1. 重量キログラム	力の大きさ
2. エルグ	仕事	2. トル*	圧力	2. 重量キログラム 毎平方メートル	圧力
3. エルグ	熱量	3. 規定	濃度	3. 水柱メートル	圧力
4. 重量キログラム メートル	熱量	4. サイクル, サイクル 毎秒	周波数	4. 水銀柱メートル**	圧力
5. 壊変毎秒	放射能	5. マックスウェル	磁束	5. 重量キログラム メートル	仕事
6. 中性子毎秒	中性子放出率	6. ガンマ	磁束密度	6. 重量キログラム メートル毎秒	工率
		7. ガウス	磁束密度	7. カロリー***	熱量
		8. アンペア回数	起磁力	8. カロリー毎秒 毎メートル毎度	熱伝導率
		9. エルステッド	磁界の強さ	9. カロリー毎キログラム 毎度	比熱
		10. アンペア回数毎 メートル	磁界の強さ	10. 重量キログラム 毎平方メートル	応力
		11. ホン	騒音レベル	11. 重量キログラム メートル	力のモーメント

注 * 医療機関での使用は除く。
 ** 血圧測定での使用は除く。
 *** 栄養関連での使用は除く。

表一 国際的に使用が認められている非 SI 単位 (JIS で使用が認められている非 SI 単位)

単 位		換 算 率	量(例)
名 称	記 号		
分	min	1 min=60 s	時間
時	h	1 h=3 600 s	
日	d	1d=86 400 s	
度	°	1° = $\frac{\pi}{180}$ rad	平面角
分	'	1' = $\frac{\pi}{10800}$ rad	
秒	"	1" = $\frac{\pi}{648000}$ rad	
リットル	l または L	1 l=10 ⁻³ m ³	体積
トン	t	1 t=10 ³ kg	質量

3年8月に、「計量単位のSIへの統一に向けての基本方針案」をとりまとめ、平成3年8月に通商産業大臣あてに答申した。

SI単位に関する答申の主な内容は次のとおりである。

① 国際度量衡総会において暫定的に使用が認められている表一5、または、現に国内外で広く使用されている表一6の非SI単位は、法定計量単位として継続させる。

② ①以外の非SI単位(表一7に示す28単位)については、3年、5年または7年の猶予期間を設けて法定計量単位から削除する。

この答申を踏まえて、計量法は、すでに平成4年5月に改正され、遅くとも平成5年秋までには施行される見

通しである。

なお、JISでは、法定計量単位として継続使用される表一5、6の非SI単位以外に、表一8の非SI単位も実用上重要であるので、SI単位との併用を認めている。

(3) JISの動向²⁾

ISO規格が1971年にSIの採用を開始したのを受けて、わが国でも、昭和47年12月の日本工業標準調査会第210回標準会議において、JISにSI単位を採用することを議決している。これによりJISは、SI単位の導入の促進を図ってきたが、SI単位への切換えをさらに押し進めるため、平成2年6月の日本工業標準調査会標準会議で次の議決が行われた。

「日本工業規格における国際単位系SIの導入を未だ完了していない分野については、平成2年度から5年間において当該分野の規格の制定・改正・見直しに際し、すべての規格でSIのみを規格値とする(予告方式を含める)ことを目標とする。」

この議決を受けて、日本工業標準調査会土木部会は、予告方式を採用することとし、SI単位への切り換えを必要とするJISについて、平成6年度末までに改正を行う目標を立てた。

なお、コンクリートに関するJISには、用語、骨材およびコンクリートの試験方法、コンクリート用材料、レデーミクストコンクリート、コンクリート製品、鋼材などがあり、これらの規格の改訂には、鉄鋼のJISを除き、土木部会以外に建築部会と窯業部会が関係している。鉄鋼を除いたコンクリート関係のJISの規格数は、合計109である。このうち、35規格は従来単位とSI単

位が一致しているので、残りの 74 規格について改正を行うこととなる（平成 4 年 2 月の時点で、このうち 5 規格はすでに SI 単位への切り換えの予告規定を追加済みである）。

SI 単位への移行方式について、窯業部会は、土木部会と同じ予告方式を採用しているが、建築部会は、見直し期限がきた時点で SI 単位に切り換えることとしている。

なお、平成 4 年 2 月 1 日付けで改正された JIS B 7733（圧縮試験機）には、「荷重の単位は、原則としてニュートン（N）を使用する。」と規定されており、圧縮試験機の単位は、SI に切り換わっている。ただし、当分の間は、従来単位の圧縮試験機の使用も許容されている。以上のように、JIS については SI 単位への切換え体制が整えられた状態にあるといえる。

（4）学校教育の動向

文部省は、平成元年に、学習指導要領、教科書検定の検定規則および検定基準を改めた。そして、新しい教科書検定基準では、「計量法に規定する計量単位を用いること。ただし、当該計量単位の中に国際単位系（SI）の単位がある場合には、原則としてこれによる。」と定めている。これは、小学校については平成 4 年度から、中学校については平成 5 年度から、高等学校については平成 6～8 年度にかけて新しい教科書になるために、先を見越して決められたものである。小学校から大学までの教科書における単位の取扱われ方と問題点は次のとおりである。

① 小学校では、算数で長さ、かさおよび質量が出てくるが、これらの従来単位は SI 単位と一致しているため問題とならない。

② 中学校では、SI 単位に係わる新しい単位としては「仕事」が出てくる程度であり、大きな問題はない。

③ 高等学校（普通課程）では、物理の教科書はほとんど SI となっており、熱量の単位について、一部の教科書でカロリーとジュールを併用している。工業高校の教科書も順次 SI に移りつつあるが、科目によって差がある。たとえば、機械では、SI 化が進んでいるが、土木、建築では、SI 化が遅れている状況にある。

④ 大学では、単位について文部省の指導は行われておらず、その使い方は、大学にまかされている。

（5）学会の動向

a) 土木学会

企画調整委員会において、SI 化に関する検討を行ってきており、これまでに次のような対処方針が議論されている。

① 「計量法」が改正されたので、基本的には SI 化を認めることになるであろう。

② 具体的には、「土木学会で使用する単位は原則的

表一9 主要各国の規格および国際規格で使用しているコンクリート強度の単位

国名	日 本	国際規格	イギリス	アメリカ	ドイツ	フランス
規格	JIS	ISO	BS	ASTM	DIN	FS
使用単位	kgf/cm ²	MPa (N/mm ²)	N/mm ²	MPa	N/mm ²	MPa

に SI 単位とする。なお当分の間は重力単位系を併記してよい。」というように、使用開始日を明記しない形の会告を出したらどうか。

b) 日本建築学会

日本建築学会では、SI 単位の導入に向けて全面的に取り組んでいる。ただし、コンクリート関係については特別な委員会は設置しておらず、小委員会のレベルで、SI 単位を導入する場合には、「JASS 5」などの基準類の単位のどこを修正することが必要か、などといった検討を行っている。

（6）国外の動向

国際規格を作成する機関として、国際標準化機構（ISO）がある。ISO は、各国標準化機構の世界的な連合体であり、わが国は 1952 年に加盟している。ISO は、1971 年から SI の採用を開始しており、国際規格 ISO 1 000「SI 単位とその整数乗倍及び他のいくつかの単位の使い方の推奨」を定めている。

EC 諸国（イギリスを除く）、カナダ、オーストラリア、ニュージーランド、アジア各国など、イギリスとアメリカを除く主要国は、SI 単位への切り換えを終えており、法規で SI 優先の規定がある。また、SI 採用の遅れていたイギリスおよびアメリカも政府レベルで SI 単位への移行に努力中である。

一例として、コンクリート強度について、主要各国の規格および国際規格で使用している単位を表一9に示す。コンクリート強度については、イギリス（BS）およびアメリカ（ASTM）でも SI 単位を使用しており、従来単位を使用しているのは日本だけである。

3. 土木構造物の設計施工の技術基準における単位の検討

（1）検討方法

土木構造物の設計施工の技術基準を対象とし、SI 単位に移行する場合の単位の取扱いと SI 単位への移行方法について検討した。構造物としてはコンクリート構造物を主な対象としたが、コンクリート構造物以外の構造物も含む基準の場合には、他の種類のものも検討対象とした。

検討方法としては、道路、港湾および鉄道構造物の設計施工に関する技術基準における単位の記述を伴う条文・条項を抜き出して、その単位を SI 単位へ移行する

際の方式を調査分類する手法を採用した。

分類の方法は次の4種類である。

- A: 換算率を乗じて求めた値とすればよいもの(換算値方式)。
 B: 換算率を乗じて求めた値を有効性を失わない範囲で丸めた新数値とする必要があり、丸める数値について検討を要するもの(新数値方式)。

具体例

コンクリートの設計基準強度
 重力単位 SI単位
 $210 \text{ kgf/cm}^2 \rightarrow 20.6 \text{ MPa}$

この場合、20.6を20.5または21に丸めて新数値とするかどうかの検討が必要となる。

- C: 数値の根拠となっている数式等に重力単位系の影響が含まれており、その影響を別途考慮する必要があるもの。

具体例

コンクリートの曲げ強度
 重力単位 SI単位
 $0.9 f'_{ck}{}^{2/3} \text{ kgf/cm}^2 \rightarrow 0.42 f'_{ck}{}^{2/3} \text{ MPa}$
 (f'_{ck} の単位は kgf/cm^2) (f'_{ck} の単位は MPa)

- D: 単位の記述を削除出来るもの、またはSI単位への書き換えですむもの。

具体例

静水圧
 重力単位 SI単位
 $p_w = w_0 \cdot h \text{ (tf/m}^2) \rightarrow p_w = w_0 \cdot h \text{ (Pa)}$
 ここで、
 h : 水面よりの深さ (m)
 w_0 : 水の単位重量 ($\text{tf/m}^3, \text{N/m}^3$)

各技術基準の検討に際しては、各条項を単位として上記分類に該当する条文・条項数の集計を行った。ただし、1条項に異なる分類のものが含まれている場合は、それぞれ1つとして集計したので、各分類の集計数の合計は、必ずしも該当条項数とは一致していない。

(2) 道路構造物

道路構造物の設計施工に関わる技術基準としては、道路構造令および道路構造令施行規則に基づく道路局長通達である道路橋示方書³⁾(以下道示という)をはじめとして、トンネル、舗装等の示方書、さらにこれを補足する各種便覧、指針類、また、各機関等で定める仕様書、施工基準がある。ここでは、道路構造令と道示を例にとり、移行方法の検討を行った。

a) 道路構造令および道路構造令施行規則

道路構造令の条文に示されている単位には、設計速度および自動車荷重に関するものがある。この中で設計自動車荷重として、20トン、14トンが使われている。これらは、荷重という名称であるが、質量を表している。

表-10 SI単位導入時の対応方法の分類(道路橋示方書)

分類	①	②	③	④	⑤	計
A	0	0	0	0	0	0
B	6	18	13	6	1	44
C	1	9	1	0	0	11
D	11	26	16	13	9	75
延べ条項数	18	53	30	19	10	130
総条項数	51	190	114	208	39	602

注 ①道路橋示方書 I 共通編, ②同 II 鋼橋編, ③同 III コンクリート橋編, ④同 IV 下部構造編, ⑤同 V 耐震設計編

したがって、SI化に際しては、荷重という名称を使用するのであれば分類B(新数値方式)となる。なお、これらの値は、荷重の名称として汎用されていること、およびSI単位へ移行した場合に従前の基準との連続性を保つ必要があることから、数値をそのままにして呼称の変更で対応がなされることも考えられる。その場合には、対応方法の分類区分はDとなる。設計速度に関するものは、SI単位へ移行した場合でも、単位の変更はない、また、道路構造令施行規則の条文には単位が示されていないため問題は生じない。

b) 道路橋示方書(道示)

道示は、I共通編、II鋼橋編、IIIコンクリート橋編、IV下部構造編、V耐震設計編の各編とも、平成2年2月に改訂された。ここでの単位は、重力単位系で記述されているが、将来のSI単位への移行を考慮して、巻末に換算率表を添付している。したがって、JISにおけるSI単位への移行の段階にあてはめると、準備段階に該当する。

道示の各編において、SI単位以外の単位が記述されている条項を抽出し、分類区分し集計すると、表-10のようになる。これによると、BとDに分類されるものが大部分である。有効性を失わない範囲で丸めた新数値とする必要があるBに分類されるものには、荷重、設計基準強度および許容応力度に関するものが多く、例としては、等分布荷重(500 kgf/m^2)、コンクリートの設計基準強度(240 kgf/cm^2)、コンクリートの許容曲げ圧縮応力度(150 kgf/cm^2)などがある。数式に関するものは、単純に重力単位をSI単位に置き換えることができるものが多く、Dに分類されるものが大部分である。

(3) 港湾構造物

港湾構造物の設計施工に関する技術基準としては、運輸省令として「港湾の施設の技術上の基準」があり、さらにこれに関する港湾局長通達とその解説部分からなる「港湾の施設の技術上の基準・同解説」⁴⁾がある。また、施工関係の基準としては、「港湾工事共通仕様書」、「港

表-11 SI 単位導入時の対応方法の分類（港湾関係）

分 類	①	②	③	④
A	0	0	0	0
B	27	64	7	1
C	0	0	0	0
D	38	100	1	4
延べ条項数	65	164	8	5
総条項数	781	781	347	48

注 ①港湾の施設の技術上の基準・同解説（本文）、②港湾の施設の技術上の基準・同解説（解説部分）、③港湾工事共通仕様書、④港湾工事品質・出来形管理基準

港湾工事品質・出来形管理基準」がある。ここでは、これらの基準類の単位を SI 単位へ移行する方法の検討を行った。

a) 港湾施設の技術上の基準（省令）

本省令の条文に示されている単位としては、船舶の総トン数、車両の乗降用設備の幅（メートル）と勾配（パーセント）がある。総トン数は、容積を基礎として求められる商船の大きさを表す尺度であり、計量法では使用が許されるが、JIS では認められていない単位である。

b) 港湾の施設の技術上の基準・同解説

この基準は港湾局長通達であり、「基準」の本文と「基準」を補完する「解説」部分とで構成されている。「港湾の施設の技術上の基準・同解説」は、すべての港湾の施設を建設、改良、維持する場合に適用されるものであり、コンクリート構造物のみを対象とするものではない。

検討結果を分類区分し集計すると、表-11 のようになる。これによると、B、D に分類されるもののみであり、A、C に該当するものはない。道示と同様に、B に分類されるものには、荷重、設計基準強度および許容応力度に関するものが多い。数式に関するものは、単純に重力単位を SI 単位に置き換えるものばかりであり、D に分類される。

また、道路・鉄道などの他の技術基準と比較して、特徴的な単位として船舶のトン数がある。船舶のトン数には、総トン数、純トン数（容積）、排水トン数（重量）、重量トン数（重量）があり、重量を表わす排水トン数および重量トン数については、単位の変更が必要となる。

c) 港湾工事共通仕様書および港湾工事品質・出来形管理基準

これらの基準では、単位の変更を要する条文数は少なく、該当するものは材料の強度に関する単位がほとんどである。

(4) 鉄道構造物

鉄道構造物の設計施工に関わる技術基準としては、国の基準として普通鉄道構造規則（省令）、普通鉄道の施設に関する構造上の基準の細目を定める告示、鉄道構造

表-12 SI 単位導入時の対応方法の分類（鉄道関係）

分 類	①	②	③	④
A	0	0	0	0
B	10	9	29	2
C	0	9	3	0
D	0	1	37	2
延べ条項数	10	19	69	2
総条項数	80	274	205	30

注 ①普通鉄道構造規則、普通鉄道の施設に関する技術上の基準の細目を定める告示、②鉄道構造物等設計標準（コンクリート構造物）、③国鉄建造物設計標準解説〔鉄筋コンクリート構造物および無筋コンクリート構造物、プレストレストコンクリート鉄道橋〕、④土木工事標準示方書

物等設計標準⁵⁾（土構造物、コンクリート構造物、鋼・合成構造物）などがある。コンクリートおよび鋼・合成構造物についての設計標準は、これらの構造物を限界状態設計法によって行う基準であり、平成3年12月に運輸省鉄道局技術参事官から各地方運輸局長および日本鉄道建設公団総裁あてに通達されている。

コンクリート構造物の具体的な設計施工の技術基準としては、鉄道事業者等が社内基準として定めている代表的なものとして、国鉄建造物設計標準解説（鉄筋コンクリート構造物および無筋コンクリート構造物、プレストレストコンクリート鉄道橋）、土木工事標準示方書がある。

本節では上記の技術基準のうち、コンクリート構造物の設計施工に関わるものを検討対象とした。検討結果を分類区分し集計すると表-12 のようになる。

鉄道の各技術基準に共通する単位として、列車荷重がある。列車荷重は、鉄道に固有の荷重であり、たとえば、EA 17 のように荷重の名称として一般的に広く使われているものもある。「17」は車両の軸重トンを表している。これらについては、荷重として使うのであれば B の新数値方式に分類することになるが、数値をそのままにして呼称の変更で対応する（分類 D）ことも考えられる。

a) 普通鉄道構造規則、普通鉄道の施設に関する技術上の基準の細目を定める告示

普通鉄道構造規則における構造物設計関係の条文では、具体的な単位の記述はない。

普通鉄道の施設に関する技術上の基準の細目を定める告示では、構造物設計に関する条文の中で、設計荷重の値および許容応力度を表す単位に重力単位系が使用されている。これらについては、分類 B の新数値方式がとられるものと考えられる。

b) 鉄道構造物等設計標準（コンクリート構造物）

鉄道構造物等設計標準（コンクリート構造物）におい

表-13 SI 単位導入時の対応方法の分類
(コンクリート標準示方書・設計編)

分類	該当箇所数
A	0
B	12
C	7
D	5
延べ条項数	24
総条項数	210

表-14 SI 単位導入時の対応方法の分類
(コンクリート標準示方書・施工編)

分類	該当箇所数
A	解説 4
B	条文 2 解説 18
C	解説 4
D	解説 7
総条項数	361

で使用される重力単位系による単位を用いる条文は、荷重の特性値および強度・耐力算定式（重力単位系の数値が式中のパラメータとなっている。）に大別される。

前者については、単位の移行時において、分類 B の新数値方式が取られるものと考えられる。ただし、設計列車荷重のように重力単位系で示される数値が、固有名詞の一部として取り扱われているような場合については、十分な検討が必要となる。

後者については、単位系の換算を、耐力算定式そのもので行わなければならないものと考えられ、分類 C に該当する。

c) 国鉄建造物設計標準解説（鉄筋コンクリート構造物および無筋コンクリート構造物、プレストレストコンクリート鉄道橋）

この基準は、許容応力設計法を基本とするものであり、a) の告示とほぼ同様に分類される。ただし、設計者の利便を考慮して、条文中の数式などに単位をあえて記述している箇所が多く、それらは、単位の記述の変更もしくは削除で対応できるものである。

d) 土木工事標準示方書

この基準において変更を要する単位が使用されている条文は、コンクリート強度に関する 2 条文のみであり、分類 B の新数値方式がとられるものと考えられる。

4. 土木学会・コンクリート標準示方書における単位の検討

コンクリート標準示方書⁹⁾について（舗装・ダム編を除く）3 章と同様な検討を行った。

なお、検討した平成 3 年版のコンクリート標準示方書設計編および施工編では、SI 単位導入時への対応のため、巻末に「SI 単位系への換算率表」を示し、さらに、強度や耐力算定式中に重力単位が含まれる場合に対しては、SI 単位に換算した強度や耐力算定式を記載している。

したがって、コンクリート標準示方書は、SI 単位への移行の準備が整えられているといえる。

(1) 設計編

単位の記述がある条文を抽出し、SI 単位への移行時の対応の分類を区分し集計すると、表-13 のようになる。

設計編における重力単位系による単位の記述の条文は、以下の 3 つのグループに分けられる。

- ① 荷重の特性値および材料の設計用値をもつもの
- ② 強度・耐力算定式（重力単位系の数値が式中のパラメータとなっている。）をもつもの
- ③ 許容応力度および応力度の制限値をもつもの

①の例は、「4.4.1 死荷重」、「4.4.4 水圧、流水圧および波力」、「4.4.7 風荷重」、「4.4.8 雪荷重」、「3.2.4 ヤング係数」および「3.3.4 ヤング係数」における重力単位である。このうち、「4.4.1 死荷重」については、材料の単位重量が示されており、分類 B の新数値方式がとられるものと考えられる。また、「3.2.4 ヤング係数」および「3.3.4 ヤング係数」においては、一般的な場合の設計用値が表に示されているが、これらも B に分類されることになろう。その他の荷重に関する条文では、単純に単位表示の変更（分類 D）で対応可能と考えられる。

②の例は、「3.2.1 強度」および「6.3 セン断力に対する安全性の検討」などにおける、重力単位を基準とした強度および耐力算定式である。これらについては、単位の換算を強度や耐力算定式そのもので行わなければならない（分類 C）。

③の例は、「14 章 許容応力度法による設計」において、重力単位系によって記述されるコンクリートの設計基準強度および許容応力度などである。また、「7.3.4 曲げひびわれの検討」および「11.3.1 曲げモーメントおよび軸方向力に対する検討」などにおいて、重力単位系で記述される応力度の制限値もこの一例である。これらについては、分類 B の新数値方式がとられるものと考えられる。

(2) 施工編

施工編については、条文に加えて解説も検討対象とした。検討結果を分類区分し集計すると表-14 のようになる。施工編において、SI 単位導入時に検討を要する項目としては、ほとんどが強度 (kgf/cm²)、荷重 (tf または kgf) について使用されている単位である。強度、

荷重以外には、15章(マスコンクリート)で使用されている熱量の単位(cal)のみが変更の対象となる。

対応方法としては、設計基準強度のような材料規格は、新数値方式Bに分類される。荷重についても、例えば支保工に作用する施工機械(コンクリート運搬車、機械設備など)の荷重のような基準となる数値は同様な扱いとし、Bに分類される。

数式の変更が必要な分類Cの例としては、コンクリート打込み時の型わくの側圧算定式が挙げられる。側圧は、 tf/cm^2 の単位で扱われているが、式中に定数があるので換算時に変更する必要がある。

この他に、単位の明記はないが、表現上の検討項目として次のものがある。

① 用語の定義の記述では、単位を含む記述はないが、「重量」という用語を「質量」と改めた方が混乱が少ないと思われるものがある。単位量に関する記述では、質量と重量が混同して使用されている。たとえば、水セメント比W/CにおけるW、Cは、重量という記述になっている。

② 骨材の粒度、有害物含有量の限度の記述における「重量」百分率という表現については、検討を要する。

③ 骨材の耐久性の記述に関する安定性試験における「損失重量」は、「損失量」として質量表示とする必要がある。

④ 配合の記述の中で、粗骨材の「単位容積重量」の用語は「単位容積質量」とする必要がある。

⑤ 計量および練りませの章において、各材料は「重量で計量する」という記述になっているが、これらは質量となる。「正味重量」、「記載重量」も同様である。

⑥ レデーミクストコンクリートの呼び強度の呼び名(150、240、400など)は、 kgf/cm^2 を基準にしたものである。JIS A 5308 レデーミクストコンクリートが改訂されて呼び強度の呼び名が変更になれば、それに対応して呼び名を改める必要がある。

⑦ 品質管理および検査において、「コンクリートの単位容積重量試験」は、「コンクリートの単位容積質量試験」となる。

(3) 規準編

規準編に記載されている大部分の「土木学会規準」、「関連規準等」は、SI単位併記の形がすでに取られているため、SI単位へ移行することが可能である。しかし、まだSI単位未併記のものもあり、これらについては、SI単位への移行前に修正整理しておくことが望ましい。「関連規準等」についてはJISが主体であり、JIS自体の変更にとまない修正することとなるため、ここでは、「土木学会規準」のみを検討の対象とした。

検討結果を分類区分し集計すると表-15のようになる。規準編では、記載されている規準が個々に異なり、

表-15 SI単位導入時の対応方法の分類
(コンクリート標準示方書・規準編)

分類	該当箇所数
A	0
B	15
C	1
D	31

それぞれが単独に定められているので、単位の記述の方式の統一がとれていない。したがって、SI単位への移行の作業量も、対象とする規準によって多少差が出てくる。以下に規準編の単位をSI単位に移行する場合の一般的な検討事項を示す。

a) SI単位への移行段階の統一

SI単位併記あるいは従来単位併記の形で、SI単位移行の第一段階(SI単位を括弧書き)、第二段階(従来単位を括弧書き)のものが混在しているので統一を図る必要がある。また、SI単位未併記のものについては、早急に第一段階あるいは第二段階の形に修正する必要がある。

b) 応力度の単位の統一

応力度の単位では、 N/mm^2 、 N/cm^2 およびMPaの表示が混在しているため、可能なものは統一するとよい。

c) 質量と力の表示の明確化

質量表示すべきところを重量表示しているものが多い。とくに、荷重の表示方法については、現在の数値を変更せずに質量表示とする方法と、力の単位(N)に換算して表示する方法があり、混乱を招かないような検討が必要であろう。

d) SI単位移行時の数値の丸め方の影響

SI単位への移行に際して、数値を新数値にするのか、換算値をそのまま使用するのかを検討しておく必要がある。kgfからN、Paへの変換は、重力の加速度による換算となり、厳密には、 $g=9.80665$ を用いるのであるが、これを10として換算しても

$$10/9.80665=1.019716$$

と、およそ2%の誤差に過ぎない。各規準について、この2%の誤差の影響度を確認して換算する必要があると考えられる。

e) 試験用機械器具の単位

「土木学会規準」に示されている大部分の試験用機械器具は、JISに規定されているものであり、改訂されるJISの規定に従うこととなる。これらの機械器具は、当面目盛りの変更を行えばよいものが多い。ただし、「硬化コンクリートのテストハンマー強度の試験方法(案)」におけるテストハンマー強度の換算式は、実験式であるので検討を要する。

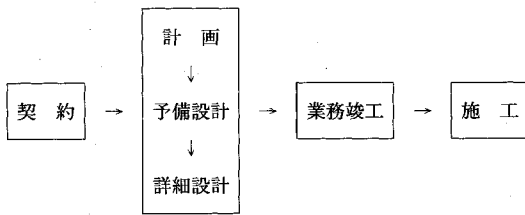


図-1 設計業務の流れ

表-16 SI 単位導入時の対応方法の分類
(PC 道路橋の設計施工)

分類	設計	施工
A	0	0
B	7	19
C	5	0
D	5	0

5. 設計、施工の実務におけるケーススタディ (道路橋の場合)

(1) 道路橋の設計

道路橋(プレテンション方式PCホロー桁)の設計を例にとり、設計作業におけるSI単位への移行の検討を行った。図-1に示す設計業務の流れの各段階における単位の取扱いと移行方法を以下に述べる。3章にならって、SI単位へ移行する場合に変更が生じる事項を分類区分し集計すると、表-16のようになる。

a) 契約時における単位

設計業務の契約前には、資格審査・業者選定・入札手続きなどがあるが、ここでは単位との関わりはほとんどなく、SI単位への移行時の問題はない。

また、契約の段階の仕様書としては、調査関係共通仕様書、あるいは各業務における特記仕様書があるが、ここには、設計内容・成果品項目・適用設計基準名が示されているのみで、具体的な数値はほとんどないため、SI単位への関わりはない。

b) 設計作業における単位

設計計算では、各種の計算式中の係数および設計計算プログラムにおいて、SI単位への移行に伴う変換、修正作業を生ずる。これらについては、計算結果が出た最終段階でSI単位への変換を行うのであれば、大きな修正作業はない。しかし、入力値をSI単位へ変換するのであれば、プログラムの内容をすべて見直す必要がある。

なお、SI単位への換算において、新数値方式をとるのであれば、従来設計との誤差について吟味しておく必要があると思われる。使用頻度の高い項目としては、各種材料強度(コンクリート、鋼材、土の粘着力など)、許容応力度、基礎工の地盤反力係数の設定(N値等からの推定式)、基礎工の支持力計算式の係数の換算があげ

られる。

図面作成では、大半が寸法表示(mm)であるため、単位の変換による問題はほとんどない。ただし、設計条件表の記載にあたっては、設計計算と同様の作業がある。

数量計算では、各種の材料強度および規格表示の変更に伴って鉄筋重量表示の質量への変更が主なものである。

(2) 道路橋の施工

プレストレストコンクリート道路橋の施工における契約、材料の発注および各種工事の各段階、ならびに労働安全衛生規則について、SI単位への移行の検討を行った。3章にならって、SI単位へ移行する場合に変更が生じる事項を分類区分し集計した結果を表-16に示す。

a) 契約

一般的な工事請負契約書には、単位に関わる記述はない。その他の付属書類(特記仕様書など)の中で扱われるものには材料数量があり、これらは質量単位で表されるので、SI単位導入にあたって問題になるような点はないと考えられる。

b) 材料発注における材料規格の変更

PC道路橋の工事に使用されるほとんどの材料はJIS規格品であるので、JISの単位がSIになればそれを使うことになる。たとえば、鉄筋、PC鋼材の発注はすでにSI単位の呼称によっている。レデーミクストコンクリート(JIS A 5308)もSI単位の呼び強度に変更された時点で新しい呼称で発注することになる。

c) 各種工種別の問題点

PC道路橋の施工における工事種別毎のSI単位への変更項目を以下に述べる。これらの各項目は、施工会社が発注側に提出する工事計画書に記載されるものである。

① 支保工

支保工の設計荷重である、「死荷重以外の重量および衝撃(250 kgf/m²)」、「横方向荷重(150 kgf/m)」などは、SI単位に変更する必要がある。支保工材料の許容応力は重力単位で与えられているので、SI単位への変更を要する。

② 型わく工

型わく設計用のコンクリート側圧の式および型わく材の許容応力度は、SI単位への変更を必要とする。

③ 鉄筋工

鉄筋の引張試験における引張強度の単位は、SI単位に変更する。

④ PC工

PC鋼材の試験における引張強さおよび0.2%永久伸びに対する耐力の単位をSI単位に変更する。

⑤ コンクリート工

コンクリートの単位容積重量試験の呼称は、単位容積質量試験とする。また、コンクリートの圧縮強度試験に

における圧縮強度の単位, コンクリートポンプ車による圧送可能性の検討に関する圧力式の単位および型わくを取りはずしてよい時期のコンクリートの圧縮強度の参考値の単位を SI 単位に変更する。

⑥ 緊張工

緊張材に与える引張力, 緊張用ポンプのマノメータの圧力表示, 緊張作業を行ってよいときのコンクリート強度およびジャッキの仕様の単位を SI 単位に変更する。また, 緊張作業の管理における管理図の単位 (荷重計の示度の変更), 緊張材の見かけのヤング係数, 緊張管理表の緊張力および鋼材応力度に関する部分についても, SI 単位への変更が必要である。

⑦ グラウト工

ポンプによる注入圧力, グラウト試験における圧縮強度の標準値を SI 単位に変更する。

⑧ 仮設工事

現在 t・m の単位を使用しているクレーンなどの工事も機械の規格の変更が必要となる。

吊荷の最大値は力の単位なので変更されることになるが, 質量と力との関係が作業員の感覚に合うまでは時間がかかるであろう。なお, 足場などの最大積載荷重についても同様の問題点がある。

d) 労働安全衛生規則について

労働安全衛生規則のうちコンクリート工事に関係する主なものとして, 型わく支保工, 足場に関する条項が挙げられる。これらはすべて, 荷重, 強度など力に関連するものであり, SI 単位の導入に伴い変更を要する項目として次のものがあげられる。

- ① 型わく支保工の許容応力度 (kgf/cm²)
- ② 作業荷重 (kgf/cm²)
- ③ 鋼管足場の引張強さ (kgf/cm²)
- ④ 木材の許容応力度 (kgf/cm²)
- ⑤ 足場の最大積載荷重 (kgf)

6. コンクリート関係基準類の SI 単位への移行の問題点のまとめ

(1) 各基準における単位に関する条文

道路, 港湾, 鉄道の各構造物の国レベルの技術基準のうち, 省令, 告示は, 設計施工の一般的な考え方を示す性格をもっている。そのため, 設計荷重, 材料の強度などもつ条文があるのみで, その数も少ない, したがって, 単位の移行のための作業量は少ない。

しかし, 省令・告示に基づいて出される通達には, 設計施工の基礎となる規定が多くあり, 単位をもつ条文も, 省令・告示に比較すればはるかに多い。これらの条文に現れる単位は, 荷重に関するもの, 材料の単位容積重量に関するもの, 材料強度に関するものに分類することができるので, 単位の変更を要する条文の数は多いも

の, SI 単位への移行の考え方を明確にしておけばその作業は煩雑とはならないと考えられる。

施工関係の技術基準としては, 港湾と鉄道について検討を行ったが, 設計の基準に比較して単位が関係する条文は大変少ない。したがって, SI への移行の作業は少ない。

土木学会のコンクリート標準示方書では, SI 単位導入時への対応のため, 巻末に SI 単位への換算率表, 慣用単位と SI 単位の対比表が示されている。このため, SI 単位への移行準備は整えられており, 移行作業は容易に行えると考えられる。設計編については, 条文のグレードが, 国が通達する基準に相当するものであり, 単位が関係する条文は多いが, 施工編については, 単位の関係する条文は非常に少ない。また, 規準編については, 単位を伴う土木学会規準が多いものの, JIS の規定に関連するものが多いことから, JIS の改訂に連動する形で変更してゆけばそれほど困難な作業とはならない。

(2) SI 単位への移行時の主な検討項目

a) 質量と重量の区別

参考文献 1) の解説付録 2 の「日本工業規格における国際単位系 (SI) の導入に関しての技術的指針」(平成 2 年 11 月の日本工業標準調査会標準会議の議決) により, 質量 (kg) と力 (N) とは明確に区別することになっている。この指針では,

- ・「重量」という用語は, 質量と重力加速度の積を意味する。
- ・「重量」という用語は質量の意味で用いている場合は, その用語を「質量」に改める。
- ・「荷重」という用語は, その内容に応じて「質量」もしくは「力」の概念を表す用語または表現に改めるのがよい。

とされている。

単位重量については, 単位重量という用語を継続して使用するのであれば, たとえば kgf/m³ は N/m³ とする必要がある。逆に, 単位質量とするのであれば, 値の変更をすることなく, kgf/m³ は kg/m³ として単位の読み替えですますことが可能となる。

荷重については, 「荷重は力なので, 現行の値 tf を N に換算する。」という考え方と, 「現行の設計自動車荷重, 鉄道列車荷重など一部の荷重の呼び名をそのまま残して使用し, 設計計算の中で力の単位 (N) に換算して用いる。」という考え方がある。本報告では前者の考え方によって分類を行った。

b) 使用する単位の統一

「日本工業規格における国際単位系 (SI) の導入に関しての技術的指針」では,

- ・応力の単位は, Pa または N/m² もしくは N/mm²
- ・圧力の単位は, Pa

を用いるとしている。

このため、構造物の設計では、応力の単位として MPa と N/mm^2 とが混在することが予想される。そこで、土木構造物の設計施工では、混乱をなくするため、SI 単位の中で統一をはかる必要があると考えられる。この方法としては次の考え方がある。

① コンクリートまたは鋼材の応力度については、 N/mm^2 を使用し、水圧、土圧、風圧等の圧力については、Pa または MPa を使用する。

② 応力、圧力とも Pa または MPa を使用する。
これらの①、②についての十分な検討が望まれる。

c) 換算後の新数値の丸め方

1 kgf \approx 9.806 65 N であるが、設計計算において必要とされる有効数字は 3 桁であるので、SI 単位への換算に際しては、9.81 倍でよいものと 10 倍でよいものを使い分ける必要がある。

例 コンクリートの設計基準強度

$$400 \text{ kgf/cm}^2 \rightarrow 40 \text{ N/mm}^2$$

なお、丸められた数字は、JIS A 5380「レデーミックストコンクリート」の呼び強度の値にも関連する。

(3) 運用上の課題

重力単位系から SI 単位への変更は、土木構造物の設計・施工・研究に携わる技術者・研究者にとって、業務に直接関わってくるので、実施運用にあたっては十分な検討を要する。

運用上の主な留意点として次の事項があげられる。

① SI 単位への移行について、国レベル、発注側、受注側、土木学会、教育界などで混乱をなくする配慮をすること。

② 混乱をなくするために、段階的な移行を行うこと(特に国レベル)。

③ 移行の時期、方法について統一をはかること(特に国レベル)。

④ 方針を決めたらそれに従うこと。

⑤ 土木学会は、これらについて早めに対応することが望ましい。

(4) ま と め

各基準を SI 単位に移行する場合、基準によって作業量に差は見られるものの、移行の方針をしっかりと定めておけば、基準そのものを SI 単位に書き換えていくことはさほど難しくない。

しかし、SI 化については、その影響が非常に大きいこと、土木学会の内外でも導入の可否について意見が分かれている^{7),8)}ことに配慮して、6章(2)で述べた検討項目について十分な議論を尽くして明確な方針を定め、たとえば作業を開始することが望ましいと考える。

また、SI 単位へ換算した各種の基準を混乱なく運用して行くためには、6章(3)で述べた点に留意する必要がある。

参 考 文 献

- 1) 日本規格協会：国際単位系 (SI) 及びその使い方 (JIS Z 8023-1985), 1985 年 11 月。
- 2) 天野正喜：コンクリート関係 JIS の SI 単位導入について、コンクリート工学, Vol. 29, No. 6, 1991. 6.
- 3) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説, 丸善, 1990 年 2 月。
- 4) 日本港湾協会：港湾の施設の技術上の基準・同解説(改訂版), 1989 年 2 月。
- 5) 鉄道総合技術研究所：鉄道構造物等設計標準・同解説(コンクリート構造物), 丸善, 平成 4 年 10 月(予定)
- 6) 土木学会：コンクリート標準示方書(平成 3 年版) 1991 年 9 月。
- 7) 巻内勝彦：SI の速やかな導入を望む, 土木学会誌, Vol. 77, No. 2, 1992. 2.
- 8) 三笠正人：メートル法重力単位系は断平守るべし, 土木学会誌, Vol. 77, No. 2, 1992. 2.

(1992. 7. 10 受付)