

開発途上国の建築物の安全性に関する基礎的研究 —鉄筋の品質の国際比較研究—
その1 調査研究の概要とフィリピンの事例報告

開発途上国 建築物 安全性
鉄筋 品質 国際比較

正会員 ○檜府 龍雄 1* 正会員 北 茂紀 2*
正会員 荒木 美香 3* 正会員 佐久間順三 4*
正会員 今井 弘 5* 正会員 大野 吉昭 6*
室岡 直道 1* 岸 志津佳 1*

1. 背景と目的

開発途上国は、大規模地震の度に建築物に甚大な被害を被ってきている。これらの国の多くは、耐震性能を含む構造基準を有しており、相当レベルの地震荷重を設定している¹⁾。こうした中、建物の脆弱性の原因の一つとして建築材料の品質が考えられる。現地の技術者、職人の間では、こうした懸念を表明する者が少なくない。このため、本調査研究では、開発途上国において一般的に使われている種々の鉄筋のサンプルを入手し、その形状、機械的性質、成分について調査を行い、鉄筋の品質の比較と課題の検討を行うものである。なお、対象とする試験体は、一般的に使われているものを使用しているが、典型的なものであることは確認できておらず、また、試験体の数も極めて限定されたものであり、事例紹介的なものであることを付記する。また、同様の背景、問題意識から、著者らは、セメントについての同様の調査研究を行っている²⁾。

2. 調査研究の概要

(1) 試験体

複数の開発途上国において、街中の建材店での購入や建設会社からの提供など、種々の方法により入手した試験体を用いた。いずれも引張試験に必要な長さ(40~60cm)のものを収集し、日本において試験した。従って、ミルシート、製品の規格が入手できていない試験体が多い。個々のケースについての状況は、それぞれの試験結果の報告に詳述する。

(2) 試験の概要

① 形状等の測定

各試験体の質量、径寸法などを測定し、単位質量、断面積などを算出した。

② 機械的性質

引張試験を実施し、降伏荷重、引張荷重を測定し、降伏点、引張強度、降伏比などを算出した。併せて、伸び寸法を測定し、伸び(標点距離における伸びの率)を算出した。引張試験は、一般財団法人ベターリビングつくば建築試験研究センター及び株式会社向山工場にて実施した。

③ 成分分析

引張試験の残材を用いて、JIS G 1253 鉄及び鋼—スパーク放電発光分光分析方法により、成分分析を行った。分析の対象は、炭素(C)、珪素(Si)、マンガン(Mn)、燐(P)、硫黄

(S)、銅(Cu)、クロム(Cr)、錫(Sn)、ニッケル(Ni)、モリブデン(Mp)、バナジウム(V)、ニオブ(Nb)である。併せて、材の溶接性に影響する成分の組み合わせた指標値である炭素当量 C_{eq} (carbon equivalent)を算出した。³⁾

3. フィリピンで入手した試験体の試験結果

① 試験体の入手方法

試験体のうち、小径の10mm、12mmは、マニラ首都圏ケソン市内の建材店で購入した。建材店では、呼び径(直径を、例えば10mmなどの整数値で表現した値。日本では、「呼び名」とも呼ばれている。)を明示して販売している。製造国は中国である認識されているが、確認できていない。また、ミルシートも確認できなかった。

大径の20mm、25mmについては、マニラ首都圏の大規模建築工事の現場で使われているものを、フィリピン構造技術者協会(ASEP)の協力により入手した。ミルシートも入手でき、これからフィリピン製であると推察できる。地元技術者の間には、熱処理などにより強度を高めている材があることを懸念する声がある。なお、同国の鉄筋の規格を入手することができたことから、検討の参考としている。

② 形状検査

小径の10mmと12mmの形状検査の結果は表1のとおり。

フィリピンの鉄筋の規格(CDPNS49:2001 Steel bars for concrete reinforcement-Specification)では、呼び径と公称径(製品の規格として定められている直径)は、同一とされており(CDPNS49のTable 3)、その単位質量(材1m当たりの質量)は、10mm:0.617kg/m、12mm:0.888kg/mとされている。これに対して、測定値は、10mm、12mmともにこれを下回り、10mm材で、-7.5~7.8%、12mm材で、13.6~13.7%となっている。なお、フィリピン基準6.3.1によれば、鋼材の質量の許容値は、±6%とされている。また、中国の規格(GB/T 905-94 表1)でも、単位質量は、フィリピン基準と同一値とされている。

表1 フィリピンの鉄筋の形状検査の結果概要

サンプル		単位質量(kg/m)					直径計算値*
入手国・地域	呼び径	番号	測定値	測定地/規格値	フィリピン規格値	中国規格値	
フィリピン・マニラ首都圏街中の建材店	10mm	No.1	0.571	0.925	0.617	0.617	9.6
		NO2	0.569	0.922	0.617	0.617	9.6
	12mm	No.1	0.767	0.864	0.888	0.888	11.2
		NO2	0.766	0.863	0.888	0.888	11.1

注) 直径計算値*は、測定された単位質量から求めた値

径の計算値が、それぞれ、9.6 mm、11.1～11.2 mmであるなどから、フィリピンでの使用を前提とした場合（呼び径の 10 mmあるいは 12 mmとして販売されている）、当事国であるフィリピンの規格に照らして径が不足となっている可能性がある。現地では、前述のとおり、中国からの輸入材であると言われており、その場合、より小さい公称径の材（9.5 mmあるいは 11.5 mm）として製造されているものである可能性もありえる。因みに、フィリピン規格には、これらの径のものはない。大径の 20 mm、25 mmは、ミルシート、規格の基準値について、いずれも許容範囲となっている。

④ 機械的性質の試験

引張試験の結果を、下表に示す。いずれの試験体も大きな問題であると思われる値は出ていない。全般的に、日本の同種の材に比べて、引張強度、降伏点のいずれも高めの値となっており、降伏比（引張強度／降伏点）が大き目となっている。一方、伸びは小さ目である。また、値が、20 mm（18.7%）と 25 mm（23.2%）とはかなり違っている。ただし、ミルシートでは、前者は 15%（基準値 14%以上）、後者は 17%又は 18%（基準値 12%以上）と異なっている。この場合、日本では、伸びを計測する標点距離は公称直径の 8 倍であるのに対して、フィリピン規格では 200 mmであることに留意する必要がある。（規格 GB/T 905-94 の表 2）小径の 10 mm と 12 mmは、降伏点、引張強度、伸びの値がかなり違い、バッチあるいはメーカーが異なると推察される。

表 2 フィリピンの鉄筋の機械的性質検査の結果概要

サンプル		降伏点 N/mm ²	引張強さ N/mm ²	降伏比 %	伸び %	
入手国・地域	呼び径					
フィリピン・マニラ首都圏街中の建材店	10mm	No.1	443	636	69.70	NA
		NO.2	420	637	65.94	20.9
	12mm	No.1	360	544	66.29	24.5
		NO.2	363	547	66.29	NA
フィリピン・マニラ首都圏大手建設会社	20mm	No.1	494	654	75.46	NA
		NO.2	495	662	74.80	18.7
	25mm	No.1	469	628	74.59	23.2
		NO.2	466	626	74.44	NA

注) 伸びの、NAは、破断位置が標点間の外となり、計測不可のもの

⑤ 成分分析

主要成分についての成分分析の結果を表 3 に示す。（表中の各サンプルの箇所（A あるいは B）は同一サンプルを 2 か所で測定した分析値）全体に炭素（C）含有量が多く、降伏点、強度が高い理由の一つとなっていると思われる。また、溶接性に関する指標値の一つである C_{eq} も全体に高めとなっている。いずれの試験体も銅、錫等のトランプエレメント（製造工程で除去が難しい成分）とクロムの含有量が少なく、高

炉材（電炉によるものではなく、高炉鋼から製造された材）の可能性はある。

10 mmの試験体は、同一材の炭素含有量が異なっており（箇所 A:0.31%、箇所 B:0.29%）、鋼材の質が均質となっていない可能性がある。10 mmと 12 mmとでは、珪素、マンガン、クロムなどの成分がかなり異なり、前節の推測（両者のバッチなどが異なっている）を裏付ける結果となっている。

表 3 フィリピンの鉄筋の成分検査の結果概要

サンプル		化学成分						
入手国・地域	呼び径	箇所	C	Si	Mn	P	S	C_{eq}
フィリピン・マニラ首都圏街中の建材店	10mm	A	0.31	0.50	0.77	0.035	0.055	0.53
		B	0.29	0.47	0.76	0.034	0.047	0.51
	12mm	A	0.28	0.18	0.57	0.035	0.052	0.40
		B	0.28	0.18	0.57	0.035	0.055	0.40
フィリピン・マニラ首都圏大手建設会社	20mm	A	0.31	0.20	0.66	0.022	0.022	0.45
		B	0.31	0.21	0.66	0.023	0.023	0.45
	25mm	A	0.30	0.18	0.66	0.027	0.023	0.44
		B	0.30	0.19	0.67	0.027	0.025	0.44

⑥ 分析、検討結果の概要

各国の規格やミルシートの入手が困難な場合が多く、サンプル数が限られているという限界はあるが、種々の有益な知見が得られた。主要なものは、①小径材は、フィリピン以外の規格に即している可能性があるが、フィリピン規格に対しては、形状が規格外となっている可能性がある、②降伏点、引張強度が高めであり、降伏比は小さ目である。また、伸びは小さ目である、③成分分析結果から、いずれも高炉材である可能性がある、④鋼材の品質が均質でないと思われるサンプルがある、⑤全体に炭素の含有量が多いなどである。

<謝辞>試験体の収集について、フィリピン構造技術者協会及び JICA フィリピン事務所、カンボジア政府国土整備・都市化・建設省及び JICA カンボジア事務所、及びネパールの協力コンサルタントにご協力いただいた。また、試験の実施と結果の分析については、株式会社向山工場にご協力いただいた。ここに記して謝意を表します。

注

1) 加藤秀弥他、連載：海外の構造基準との比較—開発途上国を中心としたケーススタディ、第 9 回東南アジアの耐震規定（建築技術 2016 年 9 月号、株式会社建築技術）参照。

2) 檜府龍雄他、開発途上国の組積造の耐震性に関する基礎的研究—モルタル強度の比較実験研究—（日本建築学会技術報告集第 15 巻第 31 号、637-642、2009 年 10 月、一般社団法人日本建築学会）参照。

3) 日本で広く使われている次式により算出。 $C_{eq}=C+Mn/6+Si/24+Ni/40+Cr/5+Mo/4+V/14$ 。なお、フィリピン基準では、同趣旨の指数値 $C.E$ を次式により算出することとなっている。 $C.E=C+Mn/6+Cu/40+Ni/20+Cr/10-Mo/50-V/10$

- 1* 独立行政法人国際協力機構
- 2* 北茂紀建築構造事務所
- 3* 佐藤淳構造設計事務所
- 4* 設計工房佐久間
- 5* 毛利建築設計事務所
- 6* 一般財団法人ベターリビング

- 1* Japan International Cooperation Agency (JICA)
- 2** Kita Shigenori Structural Design Office, Inc.
- 3* Jun Sato Structural Engineers Co., Ltd
- 4*. Sakuma Architect's Atelier
- 5* Mohri Architect & Associates, Inc.
- 6* The Center for Better Living (CBL)