

# ミャンマー国鉄における PC 技術

松尾 伸之\*1・高見 満\*2

ミャンマー国鉄では、橋梁やマクラギ等で PC 構造物が広く供用され、また、橋梁工場、マクラギ工場やバラスト工場等、PC に関連する施設を保有している。しかし、PC 関連施設の諸設備は老朽化しており、資機材不足のため PC 構造物の十分な保守を行えず、過去には経済制裁もあり、ミャンマー国鉄は、独自の技術で取組まざるを得ない環境であった。本稿では、そのようなミャンマー国鉄の PC およびコンクリートに関する取組みと課題、今後の海外展開等について述べる。

キーワード：PC 桁、PC マクラギ、品質管理、維持管理

## 1. はじめに

ミャンマー国鉄における PC 構造物といえば、PC マクラギがもっとも身近であり、PC 橋梁の維持管理、新設工事では大規模橋梁やプレキャストによる高架橋等の工事がある。筆者らは、2011 年のミャンマーの民主化以降、2012 年から主にミャンマーの鉄道の維持管理や技術協力などを通して、PC にかかわってきた。本稿では、ミャンマーの鉄道の事例を通して、海外の鉄道の PC のあり方等について記述する。

## 2. ミャンマー国鉄の現状

ミャンマーの鉄道組織は、運輸通信省の管轄下の公社という位置づけであるが、一般にはミャンマー国鉄 (Myanma Railways) と呼ばれている。全国で約 6 200 km の営業線を有し、主な路線は、経済の中心都市のヤンゴンとミャンマー第 2 の都市であるマンダレーを結ぶヤンゴン～マンダレー線やヤンゴン市内を走るヤンゴン環状線である。

鉄道の土木分野で特筆すべき事は、主要路線において木マクラギから PC マクラギへの置き換えが進んでいることである。また、軌道を支える構造物は、ほとんどの区間で盛土構造である。橋梁は鋼構造が中心であるが、近年では、

ミャンマー国鉄が PC 桁を直轄で製作して、架設している。

## 3. ミャンマー国鉄の橋梁建設の歴史

表 - 1 に各年代におけるミャンマー国鉄の路線延長、軌道延長、駅数、橋梁数の変遷を示す。ミャンマー国鉄の路線は、イギリス統治下の 1877 年から 1948 年の 71 年間で建設されたものと、独立後 (1948 年以降) の 67 年間で建設されたものに大別できる。とくに、国名がビルマ連邦からミャンマー連邦へ変わって以降 (1989 年以降) は、年間 100 km 程度の割合で、路線は建設され、2015 年以降も、路線長はさらに 561 km 延伸する計画がある (2016 年 2 月時点)。一方、2016 年 8 月には既存の 14 路線の廃止が発表され、今までの路線網の拡大から、大きな方向転換が図られつつある。

1988 年から 2011 年は、ヤンゴン～マンダレー間の複線化工事も行われたため、路線延長と軌道延長の差が大きい。橋梁は、鉄道と交差する跨線道路橋や架道橋についても、アプローチ部分を含めてミャンマー国鉄の管理となっている。なお、同表は当該期間に整備された橋梁数を集計したものであり、多くは架け替えられたため、現存する最古の橋梁は、1885 年に建設された 100 ft の下路トラス橋 (Taungoo 管区, Kaphaung Bridge) と言われている。

表 - 1 ミャンマー国鉄における橋梁数等の変遷<sup>1)</sup>

Construction Year	Rout length (km)	Track length (km)	Stations (Nos)	Bridges (Nos)
1877 - 1948	2 851.31	4 134.45	385	5 084
1948 - 1988	330.61	363.67	102	566
1988 - 2011	2 622.90	3 116.32	428	5 872
2011 - 2015	402.82	432.64	45	577
Total	6 207.64	8 047.08	960	12 099



\*1 Nobuyuki MATSUO

日本コンサルタンツ (株)  
技術本部 副部長



\*2 Mitsuru TAKAMI

JR 東日本 八王子支社  
八王子土木技術センター  
検査 1 科長

## 4. PC 桁の導入

ヤンゴン近郊のマルワゴンにミャンマー国鉄直営の橋梁工場がある。ここにミャンマー国鉄の土木局の橋梁部門が置かれ、橋梁の製作および、点検・補修を行っている。

1965年に設立された同工場で、ミャンマー国鉄は、鋼桁を中心に製作していたが、1977年度からはPC桁も製作するようになった。PC桁は1988年以降に建設された新線に多く採用されている。また近年では、鋼材の世界的な高騰を背景に、経済性、材料入手、耐用年数、維持管理のしやすさにより、老朽化した既設の鋼桁の取替えにもPC桁が多く使用されるようになった。既設の鋼桁は、ほぼ年間50橋の割合でPC桁に架け替えられている。同工場では、最大90ftの鋼桁、最大100ftのPC桁のほか、駅舎の上屋や点検ハンマー等の鋼材加工品の製作が可能である。(写真-1～4)

## 5. PC桁に供するコンクリートについて

PC桁に供するコンクリートは、ミャンマー国鉄の職員が直接材料を購入し、前述の工場で練り混ぜている。新規路線や既設桁の架替え等で今後のPC桁の使用の増大が見込まれることを受けて、2014年7月に、ミャンマー国鉄の土木局内から配合計算書<sup>2)</sup>が通達された。同計算書は、「Properties of concrete」(A.M Neville 他、1994年)を参照に作成され、ミャンマー国鉄の技術者がPC桁を設計する際、複雑なコンクリートの配合計算を簡易に行えるよう通達されたとされる。ここではその概要について、同計算書の図や表を引用し、配合計算例をもって紹介する。なお同

計算書は、13.2m～25.5m規模のPC桁を対象としている。

### 5.1 設計条件の設定

まず、ミャンマー国鉄ではPCに供するコンクリートの粗骨材の最大粒径は20mmを原則としている。このなかで、設計者は、製作するPC桁の構造や作業条件を考慮し、必要な設計圧縮強度、ワーカビリティ、可能な養生日数、品質管理の程度等を定める。また、細骨材・粗骨材は(150 $\mu$ m～40mm)のふるい分け試験を行い通過質量分率をあらかじめもとめておく必要がある。設計条件の例を表-2、3に示す。

ここで、O.P.Cは普通ポルトランドセメント(Ordinary Portland Cement)を示す。また、骨材等級とは、ふるい通過質量分率から求まる骨材の等級で、図-3に詳細を示す。

表-2 PCに供するコンクリートの設計条件例

設計圧縮強度	50 MPa	養生日数	28 日
品質管理の程度	良好	ワーカビリティ	Low
セメントの種類	O.P.C	セメントの比重	3.15
細骨材の種類	自然砕石	細骨材の比重	2.6
粗骨材の種類	自然砂	粗骨材の比重	3.3
細骨材の含水率	1 %	細骨材の表面水率	5 %
粗骨材の含水率	0 %	粗骨材の表面水率	1 %
空気量	5.0 %	骨材等級	③



写真-1 マルワゴン工場 オフィス棟



写真-2 資材運搬用トラック



写真-3 PC桁と鋼桁の製作



写真-4 リベット打ち作業

表 - 3 使用する骨材のふるい分け試験結果

ふるい目	通過質量分率 (%)	
	粗骨材	細骨材
150 μm	—	2.84
300 μm	—	22.32
600 μm	—	90.44
1.18 mm	1.34	92.18
2.36 mm	8.39	93.01
4.75 mm	34.51	—
10.0 mm	63.34	—
20.0 mm	85.17	—
40.0 mm	—	—

なお、ミャンマー国鉄はインド工業規格 (Indian Standard : IS) を準用しており、同規格 (IS383-1970, Specification for coarse and fine aggregates from natural sources for concrete) より 20 mm のふるいを 85 % から 100 % の質量が通過すれば、骨材の最大寸法を 20 mm としてよいとされている。また、IS 規格では、圧縮強度試験は 150 mm 四方の立方体により行うため、これにより求まる圧縮強度は、JIS 規格試験による圧縮強度の約 1.2 倍といわれている。

### 5.2 早見表によるコンクリート緒元の決定

次に、図 - 1 より参照番号 (Reference Number) を求める。これより、設計圧縮強度が 50 MPa で養生日が 28 日の場合、参照番号は 40 となる。図 - 2 より参照番号が 40 でワーカビリティが Low の交点から、水セメント比が 0.42 と決まる。その後、表 - 4 より、水セメント比が 0.42 でワーカビリティが Low である定まったことより、骨材セメント比 (質量比) が 4.2 と決まる。

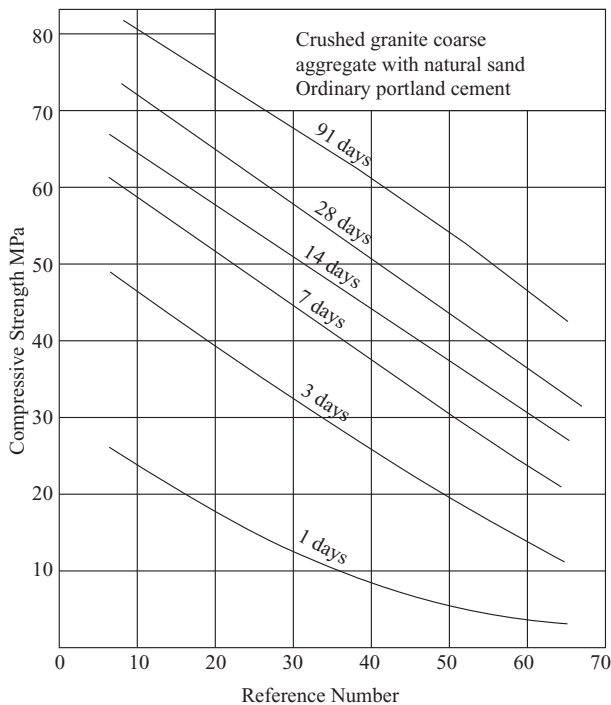


図 - 1 砕石・自然砂・普通ポルトランドセメント使用時の圧縮強度および養生日数と参照番号

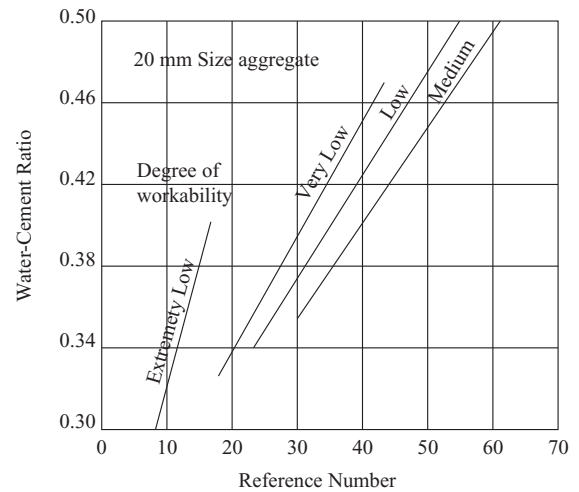


図 - 2 最大骨材寸法が 20 mm における水セメント比およびワーカビリティと参照番号

表 - 4 自然砕石使用時における骨材セメント比 (質量比) と水セメント比およびワーカビリティ

ワーカビリティ	E.L	V.L	L	M
W/C 0.3	3.3	—	—	—
0.32	4.0	2.6	—	—
0.34	4.6	3.2	2.6	—
0.36	5.2	3.6	3.1	2.6
0.38	—	4.1	3.5	2.9
0.4	—	4.5	3.8	3.2
0.42	—	4.9	4.2	3.5
0.44	—	5.3	4.5	3.7

ここで、E.L:極めて低い (Extremely Low:スランブ 0 mm)、V.L:とても低い (Very Low: 0-10 mm)、L:低い (Low: 10-30 mm)、M:普通 (Medium: 30-60 mm) を示す。

### 5.3 配合計算

図 - 3 に最大骨材寸法 20 mm における骨材 (細骨材・粗骨材混合) のふるい通過質量分率 (Percentage Passing) の曲線を骨材等級 (①~④) ごとに示す。

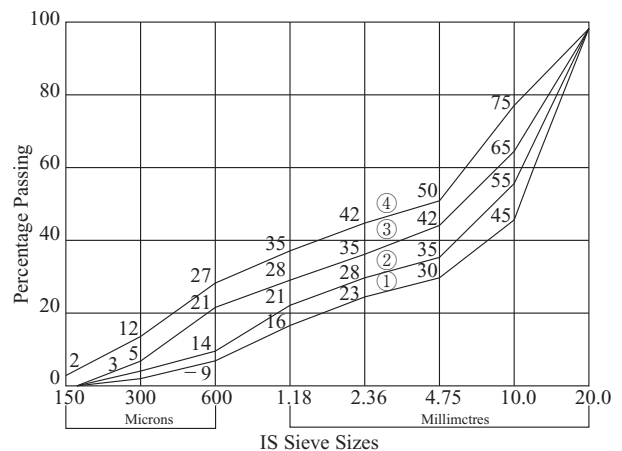


図 - 3 ふるい通過質量分率と骨材等級

ここで、本稿では、骨材等級を③と設計しているため、1.18 mm ふるい通過分率を 28 % と設定する。一方で、細



骨材と粗骨材のふるい分け試験結果（表 - 3）により、1.18 mm ふるいの通過質量分率は、それぞれ 92.18 %、1.34 % となる。ここで、細骨材の質量を 1 kg とした時の粗骨材の質量を  $x$  kg とすると、次式が成り立つ。

$$0.9218 + 0.0134x = 0.28 (1 + x)$$

$$x = 2.407 \text{ kg}$$

これより、細骨材と粗骨材の質量比が、1 : 2.407 と求められる。次に、セメントの質量を 1 とした場合、骨材が乾燥時における配合比率（質量）は次の通りとなる。

$$\text{水 : セメント : 細骨材 : 粗骨材}$$

$$0.42 : 1 : (1.0/3.412) \times 4.2 : (2.407/3.412) \times 4.2$$

$$= 0.42 : 1 : 1.231 : 2.963$$

よって、セメントの質量を  $C$  とした時、単位体積あたりのコンクリートについて次式が成り立つ。

$$0.42 \times C/1000 + C/(3.15 \times 1000) + 1.231 \times C/(2.6 \times 1000) + 2.963 \times C/(3.3 \times 1000) + 0.05 = 1$$

これより  $C = 451$  kg となり、骨材乾燥時において、設計条件を満足する配合は、水 : セメント : 細骨材 : 粗骨材が、 $189 \text{ kg/m}^3 : 451 \text{ kg/m}^3 : 555 \text{ kg/m}^3 : 1339 \text{ kg/m}^3$  となる。これに、通達によりセメント質量比 1.1 % の混和剤を加えることとなる。その後、骨材の含水状態による修正を行い、PC 桁に供するコンクリートの現場配合となる。

以上が配合計算の手順であるが、簡素な反面、現地の状況によっては、過大で不経済となる場合も想定される。

## 6. ミャンマー国鉄が有するコンクリート関連施設

### 6.1 PC マクラギ工場

写真 - 5 にミャンマー国鉄の PC マクラギ工場の一例を示す。PC マクラギはインド、中国の技術によりすべてをミャンマー国鉄が直轄で製作している。工場は、全国に 6 箇所あり、レール締結装置も製作している。PC マクラギは、プレテンション方式で、セメントはミャンマー産であるが、PC 鋼線や鉄筋等は中国や韓国から、混和剤（減水剤）はシンガポールやタイなどからそれぞれ材料を輸入し、製作される。

PC マクラギ用コンクリートの基準強度は、3 日で 5 800 Psi (Pond Square Inch)、これは約 40 MPa 相当で、7 日で 6 380 Psi、28 日で 8 000 Psi となっている。



写真 - 5 マクラギ工場（マンダレー）

### 6.2 バラスト（砕石）工場

写真 - 6 に全国に 6 箇所あるミャンマー国鉄のバラスト工場の一例を示す。ミャンマーのバラストは、日本のバラストと比べると、石灰分が多く、やや軽くて、強度が少し小さい傾向がある。また、軌道の道床等に供するバラストに限らず、コンクリート用骨材を生産している工場もある。

ミャンマー国鉄では、バラスト不足に起因する脱線が多くあり、バラストの投入が現在鋭意進められている。ただ、マクラギ下には十分敷き詰められていないところが多く見られ、マクラギ側面、端部のバラストも不足している。以前は、バラストの粒度分布の範囲外のバラストが多く見られたが、ここ数年で適度な粒度のバラストが搬入されるようになった。バラストが少しずつ現場に搬入されてきているので、道床厚さを確保し、突固めをしっかりと行えば、軌道に起因する脱線は少なくなっていくのではないかとと思われる。



写真 - 6 バラスト工場（マンダレー近郊）

## 7. コンクリートの品質管理

ミャンマー国鉄の技術基準は、Myanma Railways の前身の Burma Railways のものがそのまま適用されており、改訂はほとんど行われていない。内容を見ると、インド国鉄の基準がそのまま用いられており、人員や設備、予算が不足するためか、実態は、技術基準通りの運用は難しい。

コンクリート構造物の具体的な管理については、PC 鋼線が密に配置されていることから、PC マクラギの場合、主にハンマーによる型枠の打撃、型枠バイブレーター等が使用されている。スランプ試験や曲げ試験は、日本と同様に行われている。各種の試験機は、中国等の中古のものを使用している（写真 - 7）。施工については、締固めが不十分だったり、豆板が発生したりすることもあるため、品質管理については今後の課題である。

橋梁工場には、品質管理室があり、3 名の要因が配置されているが、設備が古く十分な品質管理ができていない。なお、橋梁工場で作成したコンクリートの圧縮強度は、第三者機関において AASHTO T22 等に基づいた試験により、確認することが基本とされている。



写真 - 7 中国製の圧縮試験機

## 8. 橋梁の維持管理

### 8.1 維持管理概要

ミャンマー国鉄の橋梁の維持管理に関しては、Manual of the Engineering Department Chapter IV Bridges という技術基準があり、橋梁の維持管理に関して技術者の階級に応じた検査や役割が規定され、最長の検査周期は1年に1回で規定されている。一方で、ミャンマー国鉄ではインドの鉄道の技術基準も広く準用されており、最長の検査周期は5年に1度という頻度で規定されている。しかし、これら内規等に規定された検査は、他の技術基準と同様に、要員不足、予算不足等の理由により十分に実施できていない。

ミャンマー国鉄の橋梁の維持管理の実態は、おおむね次のとおりの運用となっている。検査の実施担当組織は、橋梁の規模により異なり、径間が60 ft以上の橋梁は、橋梁工場の技術者が検査し、60 ft以下の橋梁は、各保線区の技術者がまず検査を行う。60 ft以下の橋梁で「変状あり (defect)」と判定された橋梁は、再度橋梁工場の技術者が検査を行うこととなっている。検査の結果は土木局の局長へ報告され、対策の必要がある橋梁は、予算措置のあと、修繕・改良または架替えされる。なお、60 ft以下の場合には劣化が進行するまで使い続けたあとに架替え (事後保全)、60 ft以上の場合には進行する前に修繕されること (予防保全) が多い。これとは別に、線路と道路が併用されている橋梁の多くは、建設省により維持管理されている。

### 8.2 橋梁の維持管理での課題と筆者らの取組み

ミャンマー国鉄の橋梁保守には次の課題があげられる。

- ・ 架替えを多く実施するため、コストが膨らみ、劣化が進行した橋梁の改善が進まない。
- ・ 対策が進まないせいか、仮設のような状態のまま供用される橋梁が多い。これら橋梁は、現行の列車本数や速度では、大きな影響はないが、近代化 (列車本数の増、速度向上) に支障する。
- ・ 保守管理を担当する組織が橋梁の規模で異なるせいか、ミャンマー国鉄すべての橋梁の状態が把握されていない。とくに、保線区は軌道の維持管理が専門であり、橋梁の検査を十分に実施できていないといいたい。

・ 検査技術が不十分であり、重大な損傷は見た目では判断され、架け替えてしまう。

また、コンクリート構造物に関しては、以下の課題があげられる。

- ・ 鉄筋コンクリート製のラーメン構造の跨線道路橋では、床版下面のひび割れや柱部の損傷等、建設時と比べて、活荷重の増加による変状が多く見られた。(写真 - 8)
- ・ 河川管理が不十分なためか、雨季になると冠水する桁もある。
- ・ 劣化した鋼橋をPC桁に架け替える際、下部工の補強を十分に検討していないため、下部工にはひび割れ等の変状が発生している。

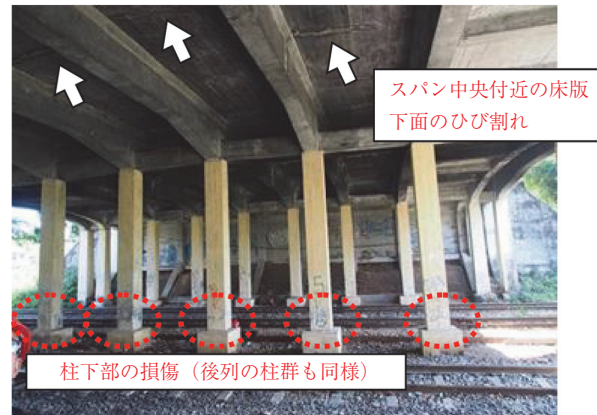
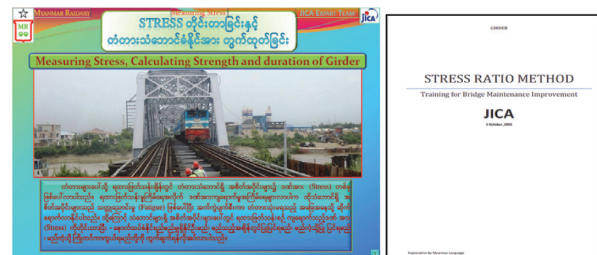


写真 - 8 跨線道路橋 桁下面ひび割れ、柱損傷

以上のような課題を改善するため、筆者らは、国際協力機構 (JICA) 「ミャンマー国鉄道安全性・サービス向上プロジェクト」にて、橋梁保守技術の技術協力を行ってきた。技術協力では、日本からの供与機材を用いて座学とOJTにより、検査や補修を通じた予防保全の技術を幅広く、ミャンマー国鉄の技術者に移転した。ミャンマー国鉄の技術者は高い知識と技術があり、筆者らが教えたことを真摯な姿勢で熱心に理解し、写真 - 9 のように、自分たちの言葉でマニュアル化したことをここに敬意をもって紹介する。ミャンマー国鉄の橋梁の状態が悪いのは、予算、設備、人員、研修の機会が不足していたためであり、技術者はそれらが限られた中で、最大限の維持管理をしてきたことを強調したい。



・ 応力測定・疲労解析  
マニュアル

・ 現有応力比率計算  
マニュアル

写真 - 9 橋梁保守技術の技術協力を通じてミャンマー国鉄技術者が独自に作成したマニュアル<sup>3)</sup>



## 9. 鉄道における PC 等の展開について

### 9.1 技術基準類の整備

開発途上国では、海外の技術基準を準用している例が多い。そのため、日本の技術基準や指針等の英訳版を海外に広め、日本の技術が導入される環境を整えることが重要だと考える。日本の技術基準類の国際的な整合性を図りつつ、考え方を普及させることは、PCにかぎらず、土木業界の海外展開では必須である。PCをはじめ写真 - 10 に示すような鋼構造の大規模橋梁等の施工は、日本の強みが発揮される分野の1つではないかと思う。



写真 - 10 Myintge 橋梁架設の状況  
(2016年8月開業, ミャンマー国鉄提供)

### 9.2 品質管理と維持管理技術の向上

ミャンマーでは、民政化された2011年までの約20年間、中国等の支援を受ける一方で、独自で施工管理、品質管理や維持管理(写真 - 11)を行ってきた。そのため、現場や工場での基本的な品質管理(締固め、PC鋼材切断後の後処理等)が不十分である印象が強い。品質管理技術は、遵守可能な技術基準類が整備される事により、向上すると考えられる。また、現在を日本の昭和30年代と仮定し、今後発展が見込まれる経済を支えるミャンマー国鉄にとって、戦後荒廃から現代までの高度な経済成長を支えた日本の技術が、貢献できる部分が多々あるかと考える。とくにPC橋の検査、診断、補修・補強などの維持管理技術の向上に資することは、海外展開していくうえで重要と考える。



写真 - 11 橋梁下部工に発生したひび割れの監視状況

### 9.3 インハウスエンジニアの育成

ミャンマーでは、鉄道分野だけでなく、さまざまな分野で研修生の日本への受け入れ、日本からの専門家の派遣等、人材育成が活発に行われている。この中において、基本技術の習得に加えて、独自で技術的な判断ができ、現場で技術を活用できる幅広い視野のインハウスエンジニアの育成が行われている(写真 - 12)。このとき、インハウスエンジニアの育成を通じて、計画、設計、施工、維持管理といったサイクルを取り入れた、相手国における耐久性のあるコンクリート製作技術を構築することが日本の大きな国際貢献につながると考えられる。



写真 - 12 座学によるエンジニア育成

## 10. おわりに

ミャンマーの鉄道は、ヤンゴン～マンダレー線やヤンゴン環状線の改良が、日本の支援によって行われる予定である。また、鉄道以外でも、多くの橋や道路の建設が計画されており、日本以外の国の支援も多くなっている。引き続き、ミャンマーの社会資本の充実に向け、協力していきたい。

### 参考文献

- 1) Myanmar Railways : Fact about Myanmar Railways, 2015.
- 2) Myanmar Railways : Civil Engineering Department Depot of Bridge Gireder Products : Concrete Mix Design for 85 ft, 57.5 ft, and 44 ft prestress concrete girders, 2014 July.
- 3) Myanmar Railways : Civil Engineering Department Depot of Bridge Gireder Products 部内資料, Measuring Stress, Calculating Strength and Duration of Girder, Stress Ratio Method, 2015.

【2016年8月31日受付】