

コンクリート構造物の施工合理化に配慮した設計のあり方についての研究

Study on design Method for Concrete Structures with Emphasis on the Retionalization of Construction

建設省 土木研究所 福田 昌史※
山本 聡 ※※
村椿 良範※※
○佐藤 均 ※※※

By Masafumi FUKUDA, Akira YAMAMOTO, Yoshinori MURATSUBAKI, and Hitoshi SATOH

土木構造物の施工に際しては、多数の労務を必要とするが、最近の労働者不足等を背景に、施工の自動化・機械化をはじめとした施工合理化による省人化・省力化のニーズが高まっている。このために設計の実務の段階において、土木構造物に要求される機能を満足する範囲内での構造物の形状の単純化や寸法等の規格の統一等の配慮や工夫が従前にも増して必要となっている。このような観点から、建設省において長年にわたって取り組んでいるコンクリート構造物の土木構造物標準設計全般について、施工合理化から見た問題点等を整理し、設計の立場から考えられるコンクリート構造物に係る各種の施工合理化策を提案した。さらに、道路土工の片持ちばり式擁壁をケーススタディとして、施工合理化策を取り入れた場合の設計基準（案）を作成するとともに、省人化の度合、作業環境の改善度合及び工期短縮の度合等の評価を行うための試験施工を実施したので、その概要を紹介する。

【キーワード】コンクリート構造物 施工合理化 設計

1. はじめに

コンクリート構造は、社会資本を形成する主要な構造材料であるが、その構築には多くの熟練工や長い時間を要している。したがって、今日の建設事業に従事する労働者の高齢化や鉄筋・型枠工などの熟練工の不足といった状況の中で、効率的な事業執行のためには、現場作業の省力化及び、それに伴う安全性の向上、苦渋作業からの開放等を目的とした施工合理化技術の開発・導入が不可欠である。施工の合理化、省力化を積極的に進めるためには、構造物

に要求される機能を満足する範囲内において、従来の材料ミニマムの設計思想から工数ミニマムといった設計思想への転換が必要である。また、現行の諸基準は現場施工を前提としていることから、合理化を進めるにあたっての阻害要因となっている部分もあるため、それらについても必要に応じた見直しも重要な課題である。

そこで、積算技術研究センターシステム課では、建設省制定土木構造物標準設計（以下「標準設計」という）を対象として、場所打ち方式の鉄筋コンクリート構造物に係る施工上の問題点を整理するとともに、施工業者が求める施工合理化の具体的改善策等をもとに設計の立場から考えられる各種の施工合理化策を提案した。さらに、片持ちばり式擁壁の設計基準（案）を作成し、それらの評価を目的とした試験施工を実施したので、以下にその概要を紹介する。

※ 積算技術研究官 0298-64-2486

※※ 積算技術研究センター システム課
0298-64-2211

※※※ 部外研究員

2. 設計の立場における施工合理化策の提案

施工の合理化を根本から考えるためには、設計の実務の段階において、要求される機能を満足する範囲内での構造物の形状の単純化をはじめとして、構造物の構造形態の簡素化や標準化、寸法等の規格化の統一が必要である。そこで、現行標準設計の施工面での問題点及び施工業者の要望等をもとに、場所打ち方式の鉄筋コンクリート構造物に係わる望ましいと考えられる各種施工合理化策を提案した。

(1) 標準設計の施工面での問題点

標準設計の場所打ち方式の鉄筋コンクリート構造物について、施工合理化の面から見た問題点を整理すると、大きく形状によるものと配筋によるものとに大別される。

a) 形状によるもの

部材厚が薄いことや、テーパによる断面の不等厚、ハンチ等による複雑な断面形状により、型枠の製作・組立、鉄筋の加工・組立、コンクリート打設作業に多くの熟練工を要すると考えられる。

b) 配筋によるもの

部材有効高の関係より配力鉄筋を主鉄筋の内側に

設置していること、また鉄筋が密に配置されているため鉄筋組立及びコンクリート打設の作業性が悪いものも見受けられる。

(2) 施工合理化策の提案

施工合理化から見た幾つかの標準設計の課題と、現在の建設事業の労務実態、技術開発の動向、施工業者の要望等をもとに設計の立場から考えられる具体的方策の検討を行った。提案した合理化策は、「現場施工の省力化・簡素化を目的とした合理化策」と「自動化・機械化導入等の環境整備を目的とした合理化策」に分けられる。その概要は、表-1のとおりである。

a) 現場施工の省力化・簡素化のための合理化策

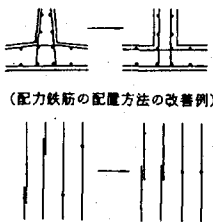
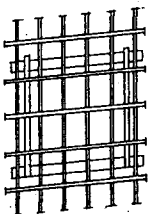
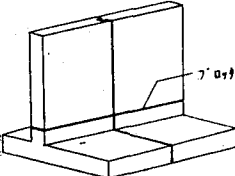
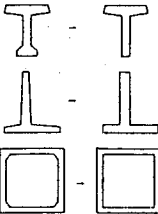
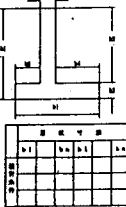
現場作業の省力化・簡素化を図るための具体的な施工合理化策は下記のとおりであり、現在の熟練工不足等の実態を考慮すれば、単に省力化・簡素化するだけではなく、熟練を要しない施工形態についても配慮する必要がある。

① 施工性を考慮した配筋仕様

② 鉄筋・型枠等、資材の工場加工及びユニット化

③ 部材のブロック化及びプレキャスト化

表-1 施工合理化の具体的方策

	施工性を考慮した配筋仕様	鉄筋・型枠の工場加工及びユニット化	部材のブロック化及びプレキャスト化
現場作業の簡素化	配筋方法の改善を行うことにより、鉄筋の加工・組立作業の効率化が図れる。  (配力鉄筋の配置方法の改善例)  (同一断面での継手の採用例)	鉄筋・型枠等、資材の工場加工及びユニット化を行うことにより、現場作業の省人化が図れる。 (鉄筋面材ユニットの一例) 	部材のブロック化あるいは本体のプレキャスト化を行うことにより、現場作業の省人化・工期短縮・現場管理の軽減が図れる。  (逆T式鉄壁のブロック化の一例)
自動化・機械化導入への環境整備	形状の単純化 構造物の形状の単純化を行うことにより、鉄筋・型枠の加工・組立の簡略化、機械化導入が容易となる。  (テーパあるいはハンチ除去の一例)	形状寸法の規格化 形状寸法の規格化を行うことにより、型枠及び鉄筋の加工・組立作業の効率化、機械化導入が容易となる。  (逆T式鉄壁を例としたイメージ図)	配筋の標準化 配筋の標準化を行うことにより、鉄筋の加工・組立作業の効率化、機械化導入が容易となる。 ○配筋ピッチの標準化 ○必要鉄筋量に対する径とピッチの標準化 ○配力・圧縮・組立鉄筋の標準化

b) 自動化・機械化導入の環境整備を図るための合理化策

現場施工での自動化あるいは機械化導入を容易にするための合理化策としては下記のようなものが考えられる。

- ① 構造物の形状の単純化とその標準化
- ② 形状寸法の規格化
- ③ 配筋方法の簡素化と配筋仕様の標準化

3. 片持ちばり式擁壁の設計基準（案）

施工合理化策の現場への円滑な導入・普及に資することを目的として、設計・施工頻度が高く、かつ他工種への適用性が高い片持ちばり式擁壁について、先に提案した施工合理化策を取り入れた場合の設計基準（案）を提案した。設計基準（案）は、表-2のとおりであり「第1章総則」、「第2章設計条件」、「第3章施工合理化策の構造細目」の3章より構成している。第1章では、主として適用工種、対象とする施工合理化策及び構造規模等を、第2章では土圧等の設計荷重及び材料の許容応力度等の基本的な設計条件を整理しており、これらは道路土工「擁壁・カルバート・仮設構造物工指針」（（社）日本道路協会）及び現行の標準設計に準拠している。第3章が、今回提案した各施工合理化策の構造細目等であり、主なポイントは以下のように整理できる。

①「形状の単純化」では、従来のテーパー等を省略し、主要部材の形状は矩形を原則としている。

②「形状寸法の規格化」では、主要部材の厚みと長さの最小・最大値及び、構造設計において安定が確保されない場合の増加幅を規定している。

③「施工性を考慮した配筋仕様」では、施工性に配慮した主鉄筋と配力鉄筋の位置関係及び、標準的な鉄筋かぶり（主鉄筋中心からコンクリート表面までの距離）を規定している。

④「配筋の標準化」では、主鉄筋と配力鉄筋の鉄筋径と、それに対応した配筋間隔を規定している。この規定を設けた背景としては、現行の諸基準では統一された考え方が無いため、ほぼ同一条件であっても、設計者によって異なった配筋仕様となっている。したがって、鉄筋加工の自動化を含めた鉄筋作業の合理化を図る上でも不可欠な規定であると考えられる。

⑤「ユニット鉄筋」では、ユニット鉄筋の使用鉄筋径、標準間隔及び規格寸法を規定するとともに、ユニット鉄筋相互の重ね継ぎ手長（現行基準には抵触するが施工性を考慮し、同一断面継ぎ手（イモ継ぎ手）を採用）については、実験結果にもとづいて現行規定よりも30%長くする規定を設けている。なお、ユニット鉄筋を普及するためには、工場製品としての規格化が不可欠であるが、これについては今後検討していく予定である。

表-2 擁壁工を対象とした設計基準
（片持ちばり式擁壁工の施工合理化に対応した設計基準（案））

第1章 総 則			
1-1 目 的			
本規準は、RC擁壁工の施工合理化に対応した、新しい設計方法の標準化を目的とする。			
1-2 適用の範囲			
本規準の適用範囲は以下のとおりとする。			
(1) 擁壁工の適用形式は、逆T式擁壁及びL型擁壁とする。			
(2) 対象とする施工合理化技術は以下のとおりとする。			
①形状の単純化 ②形状寸法の規格化 ③施工性を考慮した配筋仕様 ④配筋の標準化 ⑤ユニット鉄筋			
(3) 適用高さは3～7mとする。			
(4) 基礎工は直接基礎を対象とする。			
第2章 設計条件			
2-1 土 圧			
設計に用いる土圧は、試行くさび法とする。			
2-2 裏込め土の種類			
裏込め土の種類、内部摩擦角及び単位体積重量は下表のとおりである。			
裏込め土の種類	記号（呼称）	内部摩擦角（度）	単位体積重量（ tf/m^3 ）
隙 質 土	C 1	3.5	2.0
砂 質 土	C 2	3.0	1.9
シルト・粘性土	C 3	2.5	1.8

2-3 盛土形状

擁壁背面の盛土こう配及び高さ比の適用範囲は下表のとおりである。

盛土こう配	1:1.5、1:1.8、1:2.0
高さ比	0(水平) ~ 0.25(1/4) ~ 1.0

(注) 高さ比とは、縦壁天端から盛土天端までの距離と擁壁全高との比をいう。

2-4 過載荷重

盛土天端には、常時荷重状態において $q = 1.0 \text{ tf/m}^2$ の過載荷重を考慮する。

2-5 滑動摩擦係数

滑動抵抗力を算出する場合の摩擦係数は $\mu = 0.6$ とする。

2-6 設計水平震度

地震力を算出する場合の設計水平震度は $K_h = 0.15$ とする。

2-7 単位体積重量及び許容応力度

(1) 材料の単位体積重量は以下のとおりとする(省略)。

(2) コンクリート及び鉄筋の許容応力度は以下のとおりとする。

① コンクリートの許容圧縮応力度および許容せん断応力は下表のとおりとする。(kgf/cm²)

コンクリートの設計基準強度(σ_{ck})		210	240	270	300
圧縮応力度	曲げ圧縮応力度	70	80	90	100
	軸圧縮応力度	55	65	75	85
せん断応力度	コンクリートのみでせん断力を負担する場合(τ_{s1})	3.6	3.9	4.2	4.5
	斜引張鉄筋と協同して負担する場合(τ_{s2})	16	17	18	19
	押抜きせん断応力度(τ_{s3})	8.5	9	9.5	10

② コンクリートの許容付着応力度は下表のとおりとする。(kgf/cm²)

鉄筋の種類	210	240	270	300
丸 鋼	7	8	8.5	9
異形棒鋼	14	16	17	18

③ 鉄筋(SD295)の許容引張応力度は下表のとおりとする。

(kgf/cm ²)	
設計状態	全ての部材
常時	1,600
地震時	2,700

2-8 安定条件

転倒、支持及び滑動の安定条件に対する許容値は下表のとおりとする(B:底版幅)。

安定条件	許 容 値	
	常 時	地 震 時
転 倒	$e \leq B/6$	$e \leq B/3$
支 持	$Q \leq Q_a$	$Q \leq 1.5 Q_a$
滑 動	$F_s \geq 1.5$	$F_s \geq 1.2$

なお、基礎地盤の許容支持力は $Q_a = 30 \text{ tf/m}^2$ とした。

第3章 施工合理化技術の構造細目

3-1 形状の単純化

部材形状は、矩形断面を原則とする。

3-2 形状寸法の規格化

部材形状は、矩形断面を原則とする。なお、部材の寸法規格は下表によるものとする。(m)

	最 小	最 大	増 加 幅 (1/4)
部材の厚さ	0.4	1.0	0.2
部材の長さ	1.5	6.0	0.5

3-3 施工性を考慮した配筋仕様

(1) 配力鉄筋の配置位置

- ①壁部材の配力鉄筋は主鉄筋の外側に配置する。②底版上・下面の配力鉄筋は主鉄筋の上側に配置する。
(2) 主鉄筋中心からコンクリート表面までのかぶり10cmを標準とする。

3-4 配筋の標準化

主鉄筋及び配力鉄筋に関する配筋規定は以下のとおりとする。

(1) ユニット鉄筋を使用しない場合の主鉄筋径と配筋間隔の組合せは、下表を標準とする。

径	13	16	19	22	25	29	32
ピッチ							
125					○	○	○
250	○	○	○	○	○	○	○

(2) 配力鉄筋と軸方向主鉄筋との関係は、下表の組合せを標準とする。

軸 方 向 鉄 筋	主 鉄 筋 径	16	19	22	25	29	32	25	29	32
	ピッチ	250						125		
配 力 鉄 筋	D13etc250	○	○	○	○	○				
	D16etc250						○	○		
	D19etc250								○	○

3-5 ユニット鉄筋

ユニット鉄筋の構造細目は以下のとおりとする。

- (1) 主鉄筋の鉄筋径はD16～D38とする。
(2) 主鉄筋及び配力鉄筋の配置間隔は200mmとする。
(3) ユニット鉄筋の規格寸法は下表を標準とする。(m)

ユニット鉄筋の幅	ユニット鉄筋の長さ	長さのピッチ
2.0	2.0～6.0	0.5

(4) ユニット鉄筋の継手

- ①ユニット鉄筋の主鉄筋及び配力筋の継手方法は重ね継手を用いる。
②主鉄筋の重ね継手長Lは下式による。

$$L = \frac{\sigma_{sa}}{4\tau_0} \phi \times 1.3$$

③配力筋の重ね継手長は20φとする。

(5) 面材ユニットの段落しは、主鉄筋径の変化で行うものとする。

(6) 配力鉄筋の配筋量は主鉄筋の1/6以上とする。ただし、配力鉄筋の最小径はD13とする。

(7) 主鉄筋と配力鉄筋との結束方法は、専門工場における自動点溶接を標準とする。

4. 現場での試験施工を通じた評価

(1) 試験施工の概要

a) 試験施工の目的

試験施工は、前述した施工合理化策を実際の施工現場に適用し、以下の点を明らかにすることを目的に実施した。

①従来仕様と比較した場合の省人化の度合及び、工期の短縮等の評価

②実用化に際しての施工上の諸問題

b) 試験施工区の工事概要

試験施工区は、建設省関東地方建設局大宮国道工

事事務所が直轄する熊谷バイパスで、武蔵水路及び県道中森鴻巣線と立体交差する約95mの橋梁区間とランプを含む約200mの土工区間により構成されている。今回、試験施工の対象となる逆T式擁壁（杭基礎）は、バイパス本線とランプとの境界に設置される延長約80m（20m×4ブロック）であり、起点側に階段工、終点側には重力式擁壁と接続する形になっている。

c) 試験施工の概要

今回の試験施工では、現行仕様と下記に示す8つの施工合理化策について実施した。

①形状の単純化②形状寸法の規格化③配力鉄筋仕様

の改良④配筋の標準化⑤鉄筋のユニット化⑥高流動化コンクリート⑦流動化コンクリート⑧高性能A E減水剤を用いたコンクリート

図-1に、擁壁のブロック割と各ブロックで採用する施工合理化策との組合せを示す。

(2) 施工状況

各施工合理化策の基本適的な作業手順は従来仕様と同じであるので、ここではユニット鉄筋の施工概要を示す。

①ユニット鉄筋の仕様

ユニット鉄筋の形状は全て面材であり、1ユニッ

ト当たりの重量は80～170kgと比較的軽量である。また、その幅は工場からのトラック輸送を考慮し、2mとしてある。

②施工手順

まずユニット鉄筋をトラッククレーンで吊込み移動を行い、所定の位置に据え付ける(写真-1参照)据え付け後、現場挿入筋を用いて鉄筋相互を接続する。(写真-2参照)

(3) 調査結果

1) 省人化の割合について

施工合理化策の定量的な評価は、試験施工で得ら

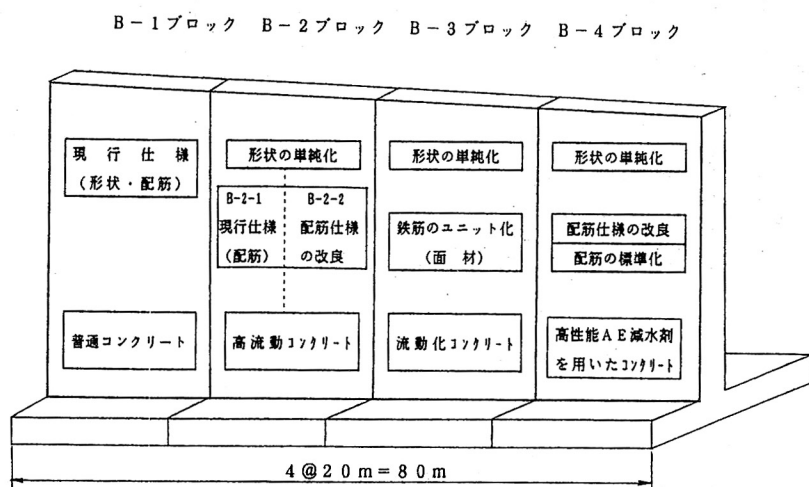


図-1 施工合理化仕様の組合せ

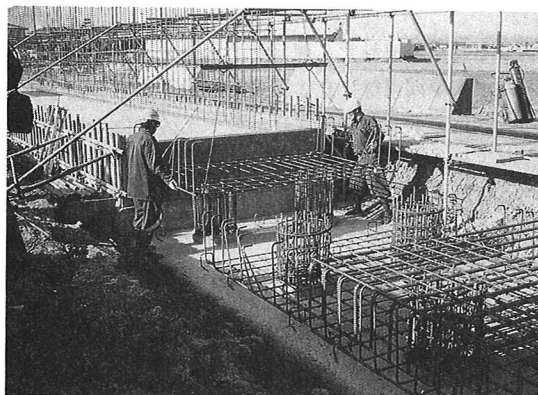


写真-1 ユニット鉄筋の据え付け状況

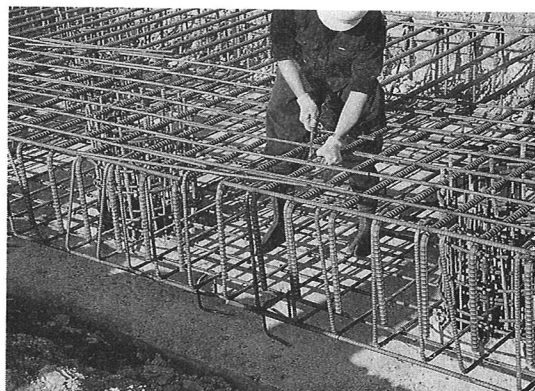


写真-2 ユニット鉄筋相互の結束状況

れた実測データをもとに、省人化の度合（現場労務投入工数）について実施した。

a) 各ブロックの現場投入労務工数の評価

表－3は、「B－1」から「B－4」の各ブロックについて、場所打ち方式の鉄筋コンクリート構造物の主要作業を「鉄筋作業」、「型枠作業」及び「コンクリート作業」とに分類し、各作業に要した現場投入労務工数を時間で整理したものである。なお、今回の試験施工では、道路の縦断勾配の関係から各ブロックの構造規模が異なっているため、省人化の評価指標としては、コンクリート単位体積（1 m³）当たりを要した総時間（鉄筋、型枠、コンクリート作業に要した合計時間）を考えた。ここで、各ブロックのコンクリート全体積は、比較条件を従来仕様と同一とするため、従来仕様で再設計した値とした。その結果は、以下のように整理できる。

①省人化の度合が最も高いのは、ユニット鉄筋・形状の単純化・流動化コンクリートを採用した「B－3」ブロックであり、従来仕様と比べて約20％の省人化が図れる結果となっている。

②次いで「B－4」ブロックの形状の単純化・配筋の標準化・高性能A E剤を用いたコンクリートの省人化率が約15％となっている。

③省人化の度合が最も低かったのは、「B－2」ブロックの形状の単純化・配筋仕様の改善・高流動化コンクリートで約10％の省人化である。

表－3 各ブロックの現場労務投入工数

ブロック区分	単位	B-1	B-2		B-3	B-4
			B-2-1	B-2-2		
施工規模	平均高さ	m	5.2	5.1	4.9	4.1
	コンクリート体積	m ³	95.5	87.4 (93.8)	85.5 (91.6)	77.4 (82.3)
投入工数	鉄筋作業	hr	137	50	51	44
	型枠作業		280	247	240	211
	コンクリート作業		40	26	38	41
	合計		457	374	322	326
効果	m ³ 当り工数	hr/m ³	4.8	4.3	3.8	4.2
	比率	—	1.00	0.90	0.79	0.87
	省人化率	%		10	21	13

注：（ ）値は実施工量である

b) 各施工合理化策の現場投入労務工数の評価

ここでは、鉄筋のユニット化、形状の単純化等、各施工合理化策に着目した場合の省人化の度合について考察する。

①鉄筋のユニット化について

表－4は、ユニット鉄筋（吊込み、据え付け、結束及び天端の現場挿入筋）と従来仕様の各作業（加工及び組立）に要した時間を比較したものである。
・ユニット鉄筋の省人化の度合を試験施工の生データから見ると、鉄筋1 t o n当たり約50％である。
・ユニット鉄筋での施工が初めてなどの理由から、実施工において作業員の不慣れによる時間ロスが生じた。そこで、ビデオをもとに、ロス時間を控除して省人化の度合を予測したところ約60％となった。

表－4 鉄筋作業に係わるユニット鉄筋の省人化効果

ブロック区分	単位	従来仕様 B-1	ユニット鉄筋（B-3）	
			試験施工	ロス時間を控除
鉄筋重量	t	7.7 —	5.0 (6.3)	
投入 労務 工数	鉄筋加工	56	—	
	ユニット鉄筋底版	—	13	7.5
	ユニット鉄筋縦壁	—	13.5	8.5
	現場結束	73	10	10
	天端筋等	8	8	8
	合計	137	44.5	34.0
効果	t当り工数	hr/t	17.8	8.94
	比率	—	1.00	0.50
	省人化率	%	—	50

注：（ ）値は実施工量である

②形状の単純化について

表－5は、形状の単純化による型枠作業の省人化の度合を整理したものである。合理化仕様はB－2～B－4まで共通であり、壁背面の傾斜を鉛直にしている。その結果、型枠の単位面積当たりでは従来仕様と比べて約15％の効果がある。

③配筋仕様の改良、配筋の標準化について

施工形態が従来仕様と異なることもあって、上記の施工合理化策のような顕著な効果は確認できなかった。

表－５ 型枠作業に係る形状の単純化の省人化効果

	従来仕様	壁形状の単純化（背面鉛直化）		
ブロック名称	B－１	B－２	B－３	B－４
組立工数	192	177	160	137
型枠面積	203.1	208.8	198.7	166.7
m ² 当たり工数	0.945	0.848	0.805	0.822
平均値	－	平均値＝0.825		
比率	1.000	0.825 ÷ 0.945 ＝ 0.873		
省人化率	－	13%		

２）その他の効果に関する評価

ａ）工程短縮

鉄筋および型枠作業に関する省人化の効果については、各々の実作業工数を用いた定量的評価により確認できたが、今回の試験施工において工程短縮に対する顕著な効果は把握できなかった。

ｂ）苦渋作業の軽減化

施工現場におけるヒアリング調査の結果、特にユニット鉄筋を用いた合理化策については、重量物を扱う作業（運搬・据付等）に関して、楽になったとの回答を得られたが、反面、継手結束の数が増加したことによるマイナス効果も寄せられており今後の検討課題と考える。

ｃ）安全性の向上

今回の試験施工において安全性に関連のある合理化策はユニット鉄筋であるが、溶接部の破損および鉄筋の変形等、特に問題となる点は生じなかった。

ｄ）経済性

前項で述べたように現場投入労務時間（工数）は、従来仕様比べて少なくなるが、形状の単純化等に伴う材料数量の増大もあって、トータルとしての工事費は従来仕様と同程度である。ユニット鉄筋の標準化により施工件数が多くなると、さらにコスト低減が期待できる。

（４）設計基準（案）の施工上の問題点

省人化等の面から改善すべき事項については、ユニット鉄筋相互の結束方法であり、これについては試験施工での結束挿入方式（フックを設けた継ぎ手専用筋による、結束継ぎ手）からユニット鉄筋相互を直接重ねる方式に改良する必要がある。

その他形状の単純化、配筋仕様の改善及び配筋の標準化についての施工上の問題点は特になかった。

４．おわりに

試験施工の結果から従来仕様比べて現場施工の合理化が図れることが確認できた。今後は、試験施工で明らかになった幾つかの問題点について検討を加えるとともに、これら施工合理化技術の現場への円滑な導入・普及に資するための諸基準を整備する予定である。最後に試験施工に御協力を頂いた茨城大学 岩松幸雄教授、建設省大宮国道工事事務所、（株）新井組ほか関係各位に、厚く感謝の意を表したい。

【参考文献】

- １）建設省 土木構造物標準設計第２巻（擁壁類）
- ２）（社）日本道路協会 道路土工－擁壁・カルバート・仮設構造物工指針
- ３）（社）日本道路協会 道路橋示方書・同解説
Ⅰ共通編 Ⅳ下部構造編