

Ⅲ-1-2 道路土工8指針の高度化・体系化に関する調査

研究予算：運営費交付金（道路整備勘定）

研究期間：平 13～平 16

担当チーム：土質チーム

研究担当者：小橋秀俊、金嘉章、桑野玲子、
古本一司、加藤俊二

【要旨】

新技術の開発促進，建設コストの縮減を図るため，様々な技術基準類で性能規定化が進められている。現在の道路土工指針についても、関連する技術基準類との整合を考え、性能規定化の可能性や、品質確認方法等の検討を行う必要がある。

そこで、本研究では、現行指針の分析等から土工指針の今後のあり方について検討を行うとともに、のり面・斜面安定工指針、カルバート工指針等について、性能規定化を考える際の要求性能、要求水準、品質管理方法等について検討を行ってきた。その結果、今後の土工指針の改訂に向けて、土工の構成を考慮して現行8指針を6指針（盛土工、切土工・斜面安定工、擁壁工、カルバート工、軟弱地盤対策工、仮設工）に再体系化を行うとともに、個々に求められる要求性能項目等について提案した。

キーワード：土工指針、性能規定化、体系化、のり面工・斜面安定工、カルバート工

1. はじめに

新技術の開発促進，建設コストの縮減を図るため，技術基準類の性能規定化が進められている。土工の分野においても同様であり、現在の道路土工指針（土質調査、のり面工・斜面安定工、擁壁、軟弱地盤対策工、排水工、仮設工、カルバート工、施工指針の8指針および土工要綱）についても、関連する技術基準類との整合を考え、性能規定化の可能性や品質確認方法等の検討を行う必要がある。

本研究は、現行指針の分析等から性能規定化を考えた土工指針の再体系化について検討するとともに、のり面・斜面安定工指針、カルバート工指針等の、①各指針において要求性能，要求水準を提示し、②要求性能，要求水準を確認するための検証方法・品質管理手法を提案することを目標として検討するものである。

2. 研究方法

2.1 道路土工指針の再体系化に関する検討

現行の土工指針について、これまでの土工指針の成り立ちを整理するとともに、土工の構成に照らし合わせて再体系化の検討を行う。

2.2 各指針の検討

各指針の記述内容を整理し、要求性能項目、要求

水準、性能の確認方法等について検討を行う。

3. 研究結果

3.1 道路土工指針の再体系化に関する検討

3.1.1 「道路土工指針」の成り立ち

「道路土工指針」の初版が出版されたのは昭和31年であった。当時の日本の道路土工技術は近代化の黎明期にあり、土質工学に基礎をおいた先進諸国の機械化土工技術を広く紹介したこの指針は道路建設に係わる多くの技術者の啓発に大きな功績を残した。その後10年、画期的な日本の道路技術の進歩をふまえて昭和42年に大改訂が行われ、ページ数も1.7倍に増大し、内容も初版の解説書的な性格を脱皮して、技術者の実務的な指針を指向する本来の意図が明確になり、日本の特異な土質・地形条件を十分に斟酌した独自の設計・施工技術が盛り込まれるようになった。

昭和47年、48年に「のり面工と斜面安定工指針」と「道路排水工指針」が相次いで「道路土工指針」の副指針として出版され、同時に、それらとの整合のための道路土工指針の小改訂が行われた。これらの副指針が必要となった背景には、経済の高度成長に促された道路建設の伸びがさらにめざましく、土工機械の性能の急速な向上もあって土工の規模が

増大し、かつて見なかった高い盛土、大きな切土が短期間に造成されるようになり、それに伴って従来の経験あるいは理論を機械的に拡張した設計・施工技術では対応しきれなくなってきたこと、さらに道路の排水工が建設・管理段階を通じて日本の気象条件下では非常に重要な課題であることが強く認識されたことから、従来の道路土工指針の記述を補足する必要があるとの要望が高まっていた事情があった。

昭和 52 年には、それぞれ道路土工の名を冠した「土質調査指針」、「施工指針」、「軟弱地盤対策工指針」、および「擁壁・カルバート・仮設構造物工指針」の 4 指針が刊行され、次いで昭和 54 年の既刊の「のり面工と斜面安定工指針」と「道路排水工指針」の改訂により、従来の「道路土工指針」はその使命を終えることとなった。

一方、道路土工に関する指針の内容がこのように充実すればするほど、技術者は道路土工の流れに沿って、各指針に記述されている内容を理解したうえで、道路の性格・工事の体制に応じて、混乱なく均衡のとれた活用をすることが求められることになる。この面から指針が分冊化され膨大な内容になることはその利用上、困難を増すことが否めない。

昭和 58 年にそれを補うために、各指針の的確な運用を助け、総合的判断の基準を与えるべく作成されたのが「道路土工要綱」である。

その後、昭和 61 年、62 年には上記の道路土工指針 6 分冊の改訂が再度行われ、最近 10 年間の技術の進歩に見合った内容に改められたとともに、それ以外として、昭和 58 年に「落石対策工便覧」、昭和 61 年に「共同溝設計指針」が新たに出版された。

このため、平成 2 年にこれらの各指針等との整合を図る必要が生じ、「道路土工要綱」の改訂に至った。

さらに、新技術、新工法、新材料等の成果を盛り込むとともに、平成 7 年の阪神・淡路大震災の経験を反映するため、平成 11 年に「道路土工—擁壁・カルバート・仮設構造物工指針」とともに「道路土工—のり面工・斜面安定工指針」が全面改訂されるに至った。本改訂では、「擁壁・カルバート・仮設構造物工指針」を充実させるために「擁壁工指針」、「カルバート工指針」、「仮設構造物工指針」に分冊化して、最新の技術動向を踏まえた検討のもとで改訂が行われた。「道路土工—のり面工・斜面安定工指針」については、近年、道路沿道の環境保全と並んで道路交通に対する災害防止、安全性向上が社会

的に特に強く要望されている中で、のり面・斜面の合理的な調査、設計、施工方法や適切な維持管理方法を確立していくことが重要になっていることが改訂の背景となっている。

3. 1. 2 現行指針の課題と再体系化

(1) 現行指針の課題

①指針の老朽化

前述のように、道路建設の高度化とともに 1 冊の「土工指針」から適宜分冊化、改訂が行われており、各々の指針で一定の整合性は図られてきたものの、体系的な構成に十分な検討がなされていないともいえる。そのために、本来の指針の精神が技術者に必ずしも伝わっておらず、技術者に混乱を与えている。また、表-1 に示すように改訂から既に年月を経ている指針もあり、必ずしも現状に沿わない場合が発生している。

②「道路土工要綱」の役割の明確化

また、「道路土工要綱」は、指針が分冊化され膨大な内容になることはその利用上、困難を増すことから、各指針の的確な運用を助け、総合的判断の基準を与えるべく作成されたものである。しかし、現状では「道路土工要綱」は技術者には各指針のおさらい版であると捉えられている面があり、実務面で重用されているとは言い難い。したがって、要綱の目指す各指針の的確な運用や総合的判断の基準が与えられていないといつてよい。そのため、「道路土工要綱」を本来の役割を果たすようにする必要がある。

③社会の要請及び関連基準との整合性の確保

道路構造令の改正を受けて舗装に関する技術基準が性能規定の考えを取り入れた改訂が行われている。

表-1 前改訂から 10 年以上を経た指針

図書名	発行年	現状の課題
土質調査指針	S61.11	地盤工学会から発行されている基準と目的を同じにしている部分が多く、改訂頻度の高い地盤工学会基準の使用性が高い。
施工指針	S61.11	盛土構造物に関する記述が多く、表題との整合性が問題。また、例えば建設機械の作業能力など、資料としての重要性は高いが、施工に関する新技術の導入を阻害する恐れがある。
軟弱地盤対策工指針	S61.11	前回改訂後、新工法がいくつか提案されているが、全てを網羅できていない。
排水工指針	S62.6	また、排水工は単独では機能せず、各構造物の安定性の担保を目的として、各構造物の中の付帯構造物として位置づけるべきものである。

また、道路橋示方書においても同様であることから、道路土工についても、性能規定化に配慮しながら、合理的な設計が行えるよう改訂がなされることが求められている。

(2) 性能規定化および再体系化

上記のように、道路土工指針の再体系化および性能規定化の検討が必要となっている。

性能規定化とは、性能を明確にして、これを何らかの検証方法により検証するシステムを構築することである。この性能規定に関する国際的に共通的な手法の一つとして用いられているNKBアプローチ手法を図-1に示す。これは要求性能と検証方法を階層構造として表す手法の一つである。土工指針の性能規定化に関する考え方は、このような階層構造を参考にすることとした。

現行指針の階層構成をみると、前述のように要綱も各指針も、道路の土工に関する技術上のマニュアルとして同格であるが、各指針は詳細な技術的内容を解説しており、「土質調査指針」、「施工指針」のように建設の流れの一段階でまとめたものと、「のり面工・斜面安定工指針」、「軟弱地盤対策工指針」、「排水工指針」、「擁壁工指針」「カルバート工指針」「仮設構造物工指針」のように工種により区分してまとめたものがある。

一方土工の観点から指針の構成を分析すると、切土工および盛土工が根幹にあり、これらに付随する形で、カルバート工、擁壁工、軟弱地盤対策工、排水工、仮設構造物工があると考えられる。このため土工

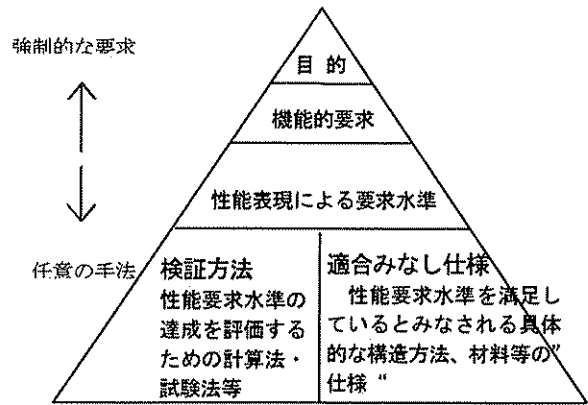


図-1 性能規定による基準体系の概念

要綱の役割としては、土工指針の最上位レベルとして、土工が目指すべき基本的な事項の区分・定義を行うとともに、各指針の位置づけ・目的および共通事項について示すものとする。全体に共通的な指針である「施工指針」、「仮設構造物工指針」、「排水工指針」、「土質調査指針」を除くと、図-2のように体系化される。

これらを踏まえた、土工指針の再編案を図-3に示す。現行の「施工指針」では、おもに建設機械、掘削土工、盛土の施工について記述しており、掘削土工については「切土工」、盛土の施工については「盛土工」として位置づけられる。また、現行の「のり面工・斜面安定工指針」では、切土や盛土ののり面・斜面の勾配や保護工および自然斜面の崩壊対策についての記述をしており、「施工指針」および「のり面工・斜面安定工指針」をベースとして、「切土工・斜面安定工(自然斜面对策工)」、「盛土工」に再編が可

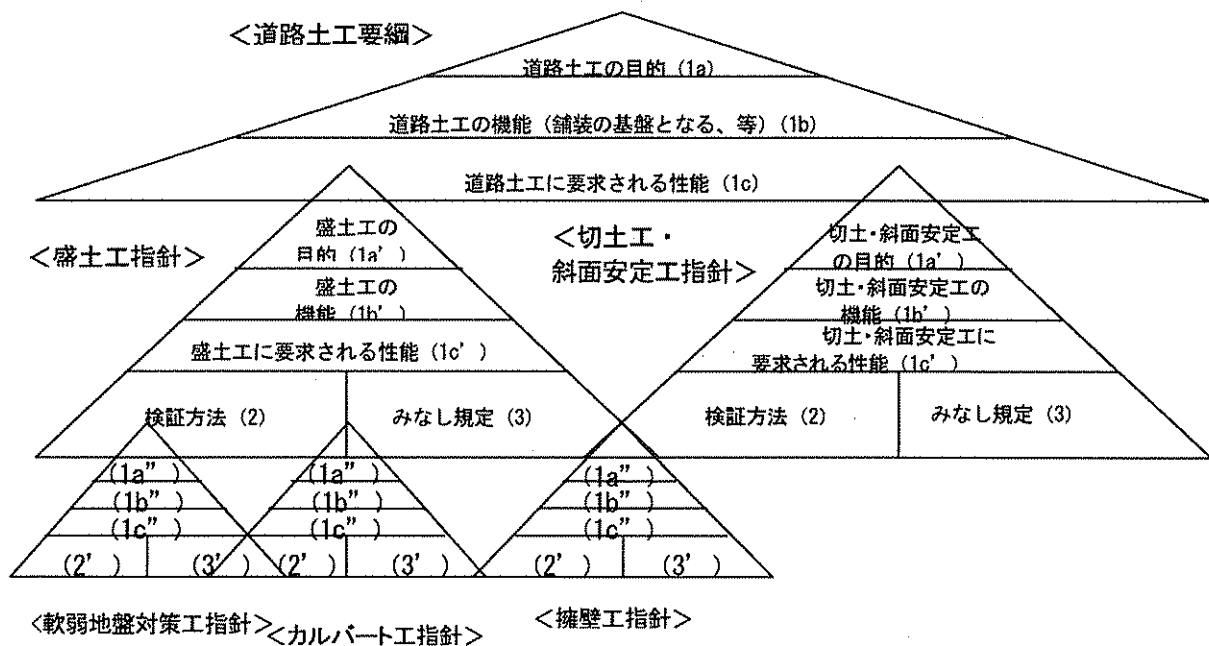


図-2 土工指針の体系図

能である。

また、「排水工指針」および「土質調査指針」については、盛土工あるいは切土工全体に共通する内容は、「盛土工指針」および「切土工・斜面安定工指針」で記述し、その他の各指針では特に必要な記述するとともに、「施工指針」、「排水工指針」、「土質調査指針」で、全体に共通する事項あるいは各指針に該当しない事項については、「道路土工要綱」で記述することで、再編時の漏れを無くすことができると考える。

3.2 各指針の検討

3.2.1 切土工・斜面安定工指針の検討

(1) 切土工・斜面安定工の要求性能

前述の図-2に示すように、構成要素の上位にあるものの要求性能を満たすために、下位層の構成要素の要求性能を満たす必要がある。切土工・斜面安定工の目的は、道路利用者が安全に走行できるように道路に隣接する斜面の安定を確保することである。また、同時に切土工・斜面安定工は、道路利用者が走行時に直接目にするものであり、快適に走行できるように配慮することが求められる。指針の位置づけであれば、「道路土工要綱」であるが、道路の構成要素で考える場合には、切土工・斜面安定工の上位にあるものは道路空間（または道路）である。このように、切土工・斜面安定工は道路空間の要求性能に係る①安全性、②（視覚の）快適性を実現するために実施するものである。なお、ここでは道路空間（あるいは道路）のすべての要求性能については言及しないこととする。

道路空間の要求性能の①安全性を満たすための切土工・斜面安定工の要求性能は、のり面・斜面に作用する外力からのり面・斜面の安定を確保すること、すなわち安定性である。切土工のみの場合は、地盤のみの安定性であるが、のり面保護や斜面災害の（表層崩壊、地すべり、落石、土石流など）の対策工は、構造物としての安定性も含んでいる。

また、道路空間のもう一つの要求性能の②（視覚の）快適性を満たすため要求性能は、視点の移動速度に応じた「連続性」や「快適性」である。一方で、のり面景観は道路内部景観だけでなく、自然環境の保全も含めて道路周辺からの道路外部景観にも同時に配慮する必要があり、「（周辺環境への）適合性」が求められる。

(2) 切土工・斜面安定工の計画と性能の確認方法
切土工・斜面安定工は、植生や地盤といった自然

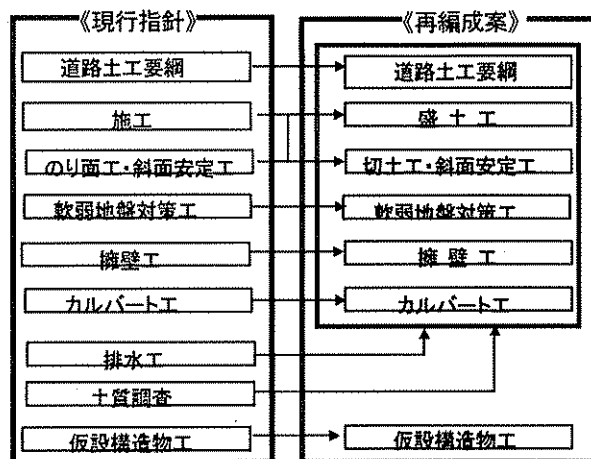


図-3 土工指針の再編成案

の不確実性を対象としている。この影響を少しでも緩和するために、切土工・斜面安定工の検討は道路建設の流れに沿って大局的な検討から詳細検討まで適宜実施される。

まず、上位の道路計画に基づいて、数本の比較検討路線が設定される。この比較検討路線について、社会的、技術的、経済的および環境的側面からの調査・分析を行い、計画路線が選定される。この段階で、地すべり等の災害の危険性や、地形改変による自然環境に対する影響を大局的に判断し、状況によっては計画路線の変更を行うことになる。また、計画路線が変更できない場合には、路線の小シフトや道路の構造形式（橋梁やトンネル）等での対応を検討する。さらに、維持管理の一貫として既設路線で実施されている事前通行規制も暫定的ではあるが対策の一つである。このように、切土工・斜面安定工では実際に対策工を設計しないで、斜面災害から回避する方法も対象としている。

一方、現地調査に基づいて切土工や斜面安定工を実施する場合でも、過去の経験に基づいた標準的なのり面勾配を参考に設計したり、植物を利用したのり面保護工では気象の影響を考慮して植物種ごとの勾配と被植率の目安により出来上がり検査をするなど、一部の構造物工を除き基本的に経験則に基づく見なし規定である。また、解析により設計する場合でも実施の段階で斜面の地質・土質の変化や湧水等が明確になることが多く、適宜計画の再検討が必要である。さらに、切土工・斜面安定工は、維持管理や点検を通じてその効果を確認し、補修あるいは補強によりその機能を維持しているのが現状である。このため、現状では施工管理および点検・維持管理が性能の確認方法といえる。

また、道路内部景観や道路外部景観における「連続性」、「快適性」、「(周辺環境への)適合性」といった人間の主観に依存する指標については評価が難しく、道路利用者へのアンケートや地域住民との合意形成が性能の確認方法の一つと考えられる。

なお現状では切土工・斜面安定工は、自然を対象とした特殊性から性能設計になじみにくいこともわかった。

(3) 新技術・新工法に関する調査

前回の改訂以降開発されている新技術・新工法について調査し、現行の工種分類に基づいた工法選定が可能か検討した結果、リサイクル材の利用や構造物工の表面に植生を施す等の環境に配慮した工法が開発されているが、工種分類は現行の分類に該当するもので選定上の問題はなかった。

3.2.2 カルバート工の検討

カルバート工の性能規定化の可能性について検討を行うため、現行指針の分析、性能照査方法の評価を行うと共に、現行指針の課題や新技術の開発動向について調査を行った。

(1) 現行指針の分析

現行指針は、必要とされる性能を規定することを必ずしも意識していないため、性能規定を想定した場合、曖昧な表現もある。

そこで、NZBCレベルシステムに基づいて、レベル1a(全体目的)、レベル1b(機能規定)、レベル1c(要求性能)、レベル2(検証・証明)、レベル3(適合する解の例)として記述の分類を行った。その結果を図-4に示す。現行指針においては、構造物の要求性能を直接検証する方法(レベル2)は示されておらず、設計内容は、場所打ちボックスカルバートにおける構造細目等いずれも適合する解の例を示したものであった。また、図-5に示すようにレベル1のものについても、表現が曖昧なものであるものが多い。

そこで、これらの結果を踏まえ、カルバートの要求性能並びに要求水準を表-2のように提案した。

(2) 限界状態設計法による試設計

性能規定化を図る場合、レベル2の照査方法として、直接限界状態を照査する手法による設計(限界状態設計法)があるが、現行指針に基づいて設計(許容応力度法)を行った場合の比較を行うため、試設計を行った。試設計を行う盛土高および内空断面寸法は、下記のとおり。

ケース1：盛土高 0.5m、カルバート内空幅 6.5m×
カルバート内空高 5.0m

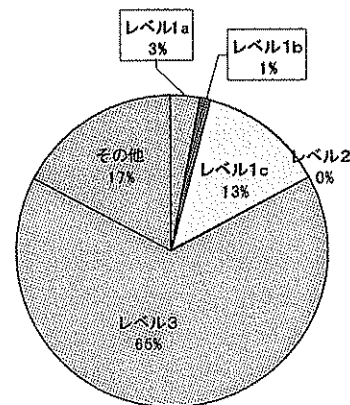


図-4 現行指針における各レベルの記述割合

レベル 1a (全体目的)
道路土工におけるカルバートについて、調査・計画、設計、施工、維持管理の標準を示す。
これは、性能規定としては、表現が曖昧である。
レベル 1c (要求性能)
カルバートには、図〇-〇に示したとおり使用材料、構造形式によってさまざまな種類があるが、これらの中からカルバートを選定するに当たっては、内空断面や土かぶりのほか、設置場所の地形・地質、迂回路や周辺構造物等の施工条件等に関する検討や工費比較などを行い、その使用目的にあった構造形式を選択する必要がある。
これは、比較的要求性能に近い。

図-5 曖昧な表現の例

表-2 カルバートの要求性能・要求水準

(1) 要求性能

安定性	外的作用に対して安定・安全である構造が健全性を保持する
使用性	上部道路や内部空間の機能を確保する補修などの維持管理が容易である
修復性	損傷した場合に速やかに機能回復を図ることができる
環境適合性	周辺環境や景観に悪影響を及ぼさない

(2) 要求水準

常時	<ul style="list-style-type: none"> ・常時の作用に対して安定・安全である ・上部道路や内部空間の機能を阻害するような有害な沈下や崩壊を生じない ・周辺地盤や盛土の長期沈下による影響を受ける場合、供用後に継続する沈下に追従でき軽微な補修程度でカルバートの安定・安全を確保する
地震時	<ul style="list-style-type: none"> ・レベル1地震動に対して、安定・安全である。裏込部の段差等は軽微な補修で速やかに復旧できる ・レベル2地震動に対して、盛土などの周辺地盤が変形・崩壊してもカルバートは崩壊しない。カルバートの損傷が限定的なものにとどまり速やかに機能回復することができる

ケース2：盛土高 10.0m、カルバート内空幅 6.5m×
カルバート内空高 5.0m

また、主鉄筋の配筋間隔は、「土木構造物設計マニュアル」に従い 250mm 間隔としたが、配筋間隔の違いによる影響を把握する上から、125mm 間隔についても部材照査を行った。

試設計を行った結果、下記に示すような傾向があることが明らかとなった。(表-3)

ケース1については、両方法による差異はほとんど見られず、一部、上床版の部材厚が限界状態設計法により設計すると 10cm 縮小する程度であった。

ケース2においては、鉄筋間隔が 250mm の場合、上床版及び側壁に関しては、差異はなかったが、下床版に関しては、限界状態設計法による部材厚が 50cm も大きくなる結果となった。これは、使用限界状態の曲げひび割れに対する検討におけるコンクリートのひび割れ幅において、鉄筋間隔が大きく影響しており、鉄筋間隔が大きいとひび割れ幅の制限値に収まらない結果によるものである。さらに、「土木構造物設計マニュアル」に規定している下側ハンチを除去したことによる影響も大きいと考えられる。

表-3 試算結果例

<現行設計>鉄筋 250mm 間隔			
		部材厚	必要鉄筋量 (引張)
ケース1	上床版	500	4-D29 (スパン中央)
	下床版	600	4-D29 (スパン中央)
ケース2	上床版	900	4-D29 4-D29 (スパン中央)
	下床版	1100	4-D32 4-D32 (スパン中央)

<限界状態設計法>鉄筋 250mm 間隔			
		部材厚	必要鉄筋量 (引張)
ケース1	上床版	400	4-D29 (スパン中央)
	下床版	600	4-D29 (スパン中央)
ケース2	上床版	900	4-D32 4-D32 (スパン中央)
	下床版	1600	4-D32 4-D32 (スパン中央)

(3) 地震の影響

現行指針においては、カルバートは地震時には周辺の地盤や盛土の変形に追従して一体となって挙動するため、地震の影響を考慮しなくてよいとされている。一方、性能設計化を図る場合、地震時の性能も明確になり、適切な照査を行う必要があるケースがあると考えられる。そこで、地震を考慮した試設計を行った。試設計のケースは(2)と同様である。また、N 値=30 と N 値=10 の単一砂質土層に対して解析を行った。

その結果、N 値=30 に対するケース1の場合は、

現行指針による常時設計にて決定された部材寸法および配筋で許容値に収まる結果となった。また、N 値=10 の場合については、発生応力度が若干大きくなっているが、部材寸法の変更にまでは至らなかった。ケース2の場合においては、N 値=30、N 値=10 のケースに対して、鉄筋間隔 250mm 及び 125mm とも、常時設計と同じ部材厚となり、地震の影響は小さいと考えられる。

(4) 温度変化の影響

土かぶり薄い場合、温度変化の影響も考えられ、性能規定化にあたって適切な配慮が必要である。そこで、この影響を把握するため、道路橋示方書を参考に試設計を行い、その影響について検討した。

試設計のケースはカルバートの内空幅 5 m、高さ 5 m、土かぶり 20 cm である。

その結果、温度変化の影響を考慮すると曲げモーメントは増加するが、許容応力度の割増しを考慮すると断面の変化はほとんどないことが明らかとなった。

(5) 新技術・新工法に関する調査

前回の改訂以後に開発されている新技術・新工法について調査を行い、5 種類程度のプレキャストカルバートが存在することが明らかとなった。また、それぞれの採用実績は 10~260 件程度であった。

4. まとめ

本研究の成果をまとめると、以下の通りである。

- ①再体系化の検討：
 - ・道路土構造物の構成に合わせた再編案を提案した。
- ②要求性能・要求水準の検討：
 - ・道路土工(要綱)、切土工・斜面安定工およびカルバート工の要求性能、性能指標を提案した。
 - ・各指針の目次構成、内容の素案を作成した。
- ③要求性能を検証方法・品質管理方法の検討：
 - ・切土工・斜面安定工は、性能設計になじみやすく、要求性能・水準の確認は施工管理・維持管理の適切な実施であり、その充実化を提案した。
 - ・切土工・斜面安定工の適切な工種選定および検討時期等の留意点を整理・提案した。
 - ・カルバート工は、試設計により限界状態設計法導入により床版に違いが出ることを確認した。
 - ・同様に、地震の影響は小さいことを確認した。
 - ・同様に、土かぶり厚の少ない場合の温度変化の影響についてほとんどないことを確認した。