

(48) アンケート調査に基づく平板解析・設計の問題点に関する一考察

ドーピー建設工業(株) 正会員 ○濱田 譲  
 第一技研コンサルタント(株) 荒瀬美喜夫  
 川鉄エンジニアリング(株) 下見 成明  
 RADコンストラクション 古市 亨

1. はじめに

平板(スラブ)は土木構造物の代表的な基本構造要素である。平板設計に当たって実務設計者は、既存の平板数値図表を用いるか、入手可能な有限要素法(FEM)プログラムもしくは設計者自身が開発した解析プログラムを利用しているのが現状であると思われる。しかしながら、既存の数値図表には平板形状・荷重分布形状および境界支持条件等に使用上の制約条件があり、また各種のFEMプログラムや独自の解析プログラムには数値精度等に不明な点が付随している。

本文は、設計業務における平板設計の実状を調査するとともに、現在設計者に使用されている平板数値図表や平板解析プログラムの問題点を抽出整理することを目的として行ったアンケート調査の結果[1]をとりまとめたものである。

2. アンケート調査の概要

アンケート調査は、本調査の目的に添うよう次の6テーマに着目して設問を作成した。

- (1) 設計における平板理論の必要性と数値図表および解析プログラムの利用に対する実務設計者の認識
- (2) 平板理論を使用した設計例の抽出
- (3) 設計に平板理論を適用する場合のモデル化の方法
- (4) 設計に平板理論を適用する場合の解析方法
- (5) 設計に使用あるいは参考にした図書・文献の抽出
- (6) 設計に平板理論を用いた場合の問題点

表-1にアンケート調査での設問の概要を示している。アンケート調査は、主として「建設コンサルタント協会近畿支部」所属のコンサルタント、建設会社、橋梁会社、PC会社、コンクリート会社、電算会社などの中から無作為に216社を抽出し、平成3年12月から平成4年1月にかけて実施した。

表-1 設問項目の概要

<p>設問1. 設計の中で平板理論は必要であると思われますか?</p> <p>設問2. 身近に使える数値図表、プログラムがあれば設計に利用してみたいと思いますか?</p> <p>設問3. 実際に平板理論を使った設計業務についてお尋ねします。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>(1) 業務区分とその概要をご記入ください。</li> <li>(2) 設計業務の対象構造物は?</li> </ul> <p>設問4. 設計における平板構造(形状、寸法等)、支持条件及び負荷(荷重)形式についてお尋ねします。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>(1) 平板形状は?</li> <li>(2) 板厚の形状は?</li> <li>(3) 板厚比(厚みと支間の比)は?</li> <li>(4) 荷重の種類は?</li> <li>(5) 荷重の作用方向は?</li> <li>(6) 板の構造特性は?</li> <li>(7) 支持条件、寸法および負荷形式を具体的にご記入下さい。</li> <li>(8) 設計モデルを決定した経緯をご記入下さい。</li> </ul>	<p>設問5. 計算(解析)方法についてお尋ねします。</p> <p>I 解析で図表を用いられた方への設問</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>(1) 使用された図書および雑誌文献のタイトル・著者名・出版社などをご記入下さい。</li> <li>(2) 図表を使用したときの問題点あるいは感想をご記入下さい。</li> </ul> <p>II 解析で計算プログラム等を用いた方への設問</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>(1) 解析方法は?</li> <li>(2) 計算プログラムは?</li> <li>(3) 有限要素法で計算した場合の自由度数(節点)および使用された要素の種類をご記入下さい。</li> <li>(4) 解析結果の精度はどのように検討されましたか?</li> <li>(5) 計算コードを使用したときの問題点・感想をご記入下さい。</li> </ul> <p>設問6. 設計への適用方法は?</p> <p>設問7. 本研究に対するご意見、ご希望をお聞かせ下さい。</p>
--	---

3. アンケート調査結果

(1) 有効回答数

最初にアンケートの回収数および回答数を表-2に示す。回収数は216社の内104社であり回収率は48%であったが、その内32社はまったく回答のなされていない白紙回答であった。従って有効回答数は72社、有効回答率は33%となり、当初の予想より低い回答率となった。

表-2 アンケート回答数

アンケート依頼数 216		
未回収	回収	
112 (52%)	104 (48%)	
	白紙回答	有効回答
	32 (15%)	72 (33%)

(2) 平板理論に関する意識について

設計における平板理論の必要性と数値図表・計算プログラム等の利用に関する意識調査(設問1、2)の結果を表-3に示す。回答結果をみると、「平板理論は必要である」が75%で残りの25%は「不要またはわからない」となっている。これは、設計基準や設計マニュアルの整備が進み、実務において設計者は特に意識せずに平板の設計を実行できるため、必ずしも理論解析等の平板理論を必要としないためであると思われる。特に示方書等で照査式が規定されている場合にそれが言える。次に、「数値図表・解析プログラムが身近にあれば利用したい」という回答は74%であった。しかしながら、無回答の13社を除いた回答においては90%を占めることになり、大多数が数値図表・解析プログラムの利用に同意していることになる。特に今回のアンケートの回答者は、大半が実際の業務で平板の設計を行った経験のある設計者であると考えられるので、平板理論を利用したいという意識が強いのであろう。従って、精度・使用性を考慮した数値図表や平板理論を用いた解析プログラムが身近に用意されておれば、これらは設計業務に有効に利用されていくものと考えられる。

表-3 平板理論に関する意識調査

		回答数	(%)
設計の中で平板理論は必要であると思うか?	思う	54	75
	思わない	8	11
	わからない	10	14
数値図表・解析プログラムがあれば利用してみたいと思うか?	使用する	53	74
	使用しない	0	0
	わからない	6	8
	無回答	13	18

(3) 平板理論を使用した設計業務について

平板理論を使用した設計業務の現状(設問3)に関する結果を表-4に示す。設計において平板理論を使用することが最も多いのは実施設計の53%であり、次に照査・検討の18%、予備・概略設計の11%となっている。これらの業務が対象としている構造は図-1に示すように多岐にわたっているが、実施設計および照査・検討では橋梁床版に関する構造が多く、予備・概略設計では地下構造物となっている。

表-4 設計業務の種別

	回答数	(%)
実施設計	38	53
予備・概略設計	8	11
照査・検討	13	18
その他	1	1
無回答	12	17

(4) 平板構造のモデル化について

設計において平板構造の解析を行う場合、平板形状、支持条件、荷重条件をモデル化して平板理論を用いる。設問4では、こうしたモデル化の現状について調査を行った。

平板形状に関しては、図-2に示すように平板を矩形板(長方形板)にモデル化する場合が圧倒的に多く、また変厚板は少なく板厚が一定で薄板(厚みと支間の比が0.15以下)とみなす場合がほとんどであった。これは土木構造物が画一的で「長方形・薄板」に分類しやすいことが第一の理由であると考えられるが、身近にある数値図表の大部分が薄板理論による矩形板に対するものに限定されており、数値図表を使用するためにもこのようなモデル化が行われているようにも推察される。

逆に言えば、多用化する構造物を現状で利用できる数値図表と整合させるためのモデル化に限界があることを意味しており、比較的設計条件に近い数値図表が必要となっていると考えて良いだろう。もちろん解析プログラムを用いる場合も後述のように要素分割や要素形状との関連性があると思われる。

荷重については、図-3に示すように全面荷重系の変等分布荷重・全面等分布荷重と局所荷重系の部分荷重・集中荷重の2つの荷重系で大部分を占めている。局所荷重系は作用位置、作用幅および着目点などのパラメーターが多く、数値図表を利用する場合、数値図表を作成する場合のいずれにも問題点が多く存在すると思われる。

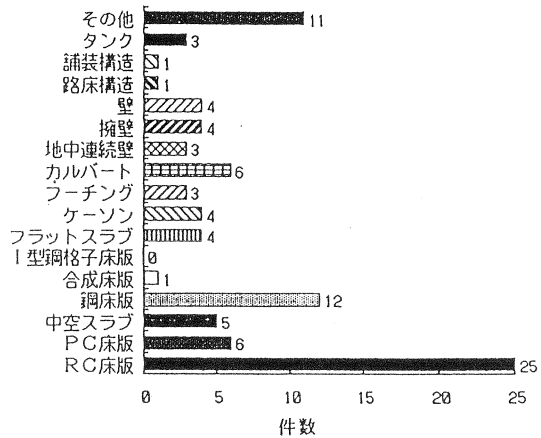


図-1 設計業務の対象構造

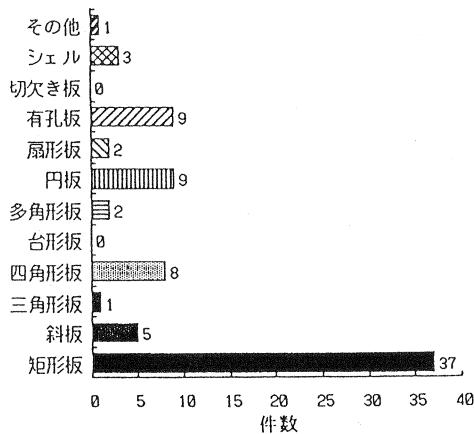


図-2 平板形状

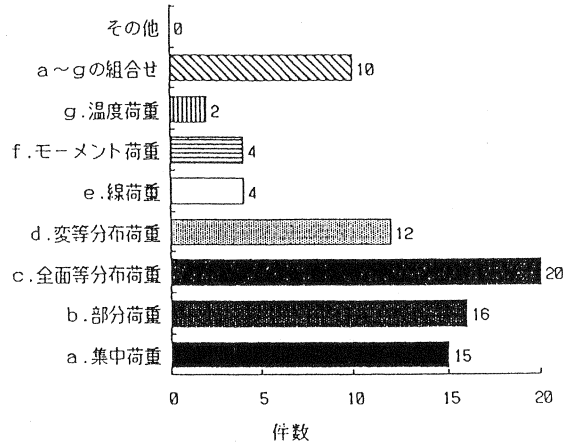


図-3 荷重の種類

(5) 解析方法について

一般に、解析を行うということは何等かの数値計算を伴うが、ここでは数値図表を用いて断面力や部材応力度を算出することも一解析手法であると考え、設問5において解析方法に関する現状を調査した。

まず、比較的単純な構造形式の平板では、解析に数値図表が利用されており、この場合は以下の図書が多

く引用されているようである。

1. 土木学会：構造力学公式集、技報堂、1988.
2. 東 洋一、小林清司：平板構造（建築構造大系11）、彰国社、1970.
3. Pucher, A.: Influence Surfaces of Elastic Plates (4th ed.), Springer-Verlag, Wien, 1973.
4. Timoshenko, S.P. and Woinowsky-Krieger, S.: Theory of Plates and Shells, McGraw-Hill, New York, 1959.

これらのうち、本来の意味での数値図表に関する図書はわずかに Pucher の一書にすぎず、著者らの調査 [1] によると、有用な数値図表に関する図書や著書が数多く存在することが明かとなっている。しかしながら、これらはほとんどが外国での出版物であり、これらの図書の大部分は実務設計者に知られることも有効利用されていることもないようである。平板解析に関する図書・雑誌に現れた数値図表等を収集整理してデータベース化すれば、実務設計者はこれらを有効に利用することができるので、今後、数値図表のデータベース化を進めていく必要があるように思われる。

解析プログラムを用いる場合には図-4、および図-5 に示すように、大半が有限要素法および有限帯板法を用いおり、また電算会社が用意しているアプリケーションソフトを利用しているようである。特に、異方性板、多角形板、穴あき板のような複雑なパラメーターを有するものには有限要素法が多用されているようである。しかし、平板理論解析に基づくプログラムや自社開発プログラムも使用されているようであり、解析に対して設計者独自の努力がなされているように思われる。

表-5 に数値図表および解析プログラムを含む解析方法を用いた場合の問題点および使用上の感想に関する調査結果の代表例を示す。

数値図表を用いた場合、前項でも示したように、構造のモデル化およびその解析精度に問題または疑問があるようである。すなわち、現在一般に使用されている数値図表では多様化する構造物の設計に適用できなくなってきており、現在の構造物にも適用可能な数値図表が必要とされていることが推察される。特に有限要素法を用いた場合も、要素分割法を含むモデル化や解析精度に問題や疑問があるようである。「解析結果の精度はどのように検討されましたか？」という問いに対し、回答の61%は経験によって判断したと回答しているが、25%は図表等の数値データを利用したと回答しており、数値図表を整備すれば計算結果の精度確認にも数値図表が利用できるものと考えられる。

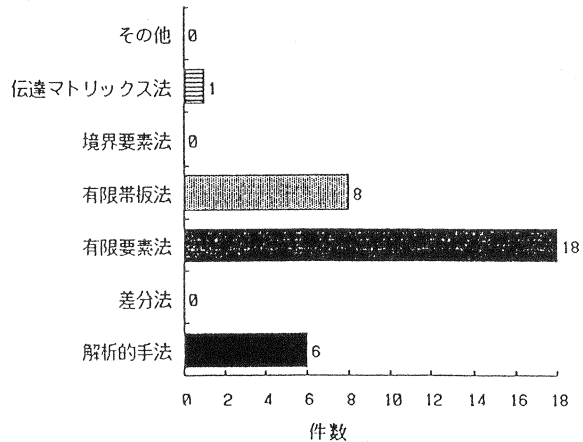


図-4 解析手法

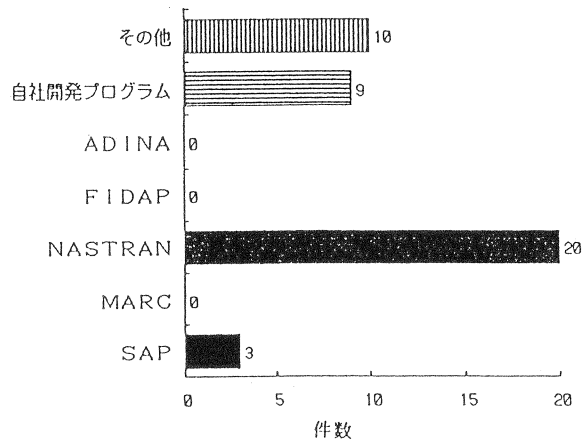
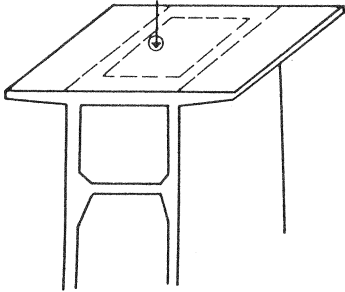
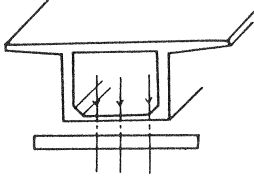
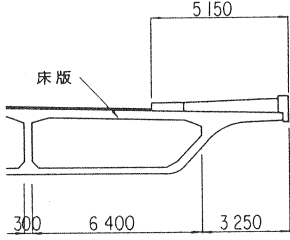
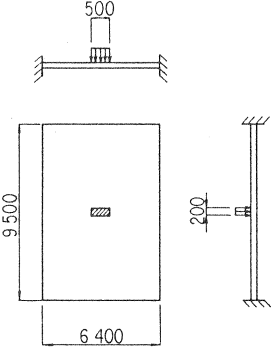


図-5 解析プログラム

表-5 解析手法の問題点および感想

解析手法	問題点および感想
数値図表	1. 簡単に断面力は求められるが、精度に疑問がある。 2. 支持条件、荷重条件に適合した図表がない。 3. その場合、図表の条件に合うようモデル化がラフになる。 4. 数値を図表から読み取るのが面倒、誤差が生じる。 5. 着目点での厳密解を得られることは少ない。
解析プログラム	1. データの入力が面倒。 2. メッシュ分割を細かくすれば解析精度は向上するが、時間及びコストが増大する。 3. 支承条件や境界条件をモデル化しきれない場合がある。 4. モデル化の差異による解析結果の異差、解析結果の評価に疑問がある。 5. 構造物の多様化およびパソコンの普及によりFEMの利用頻度が増加する。

表-6 設計例

<p>設計例1 PC箱桁橋の上下床版に作用する集中荷重に対する照査</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p>中間橋脚上の上床版</p>  </div> <div style="text-align: center;"> <p>張出し施工中の下床版</p>  </div> </div>	<p>実施設計</p> <p>解析手法 : Pucherの図表</p> <p>平板形状 : 矩形</p> <p>板厚 : 一定</p> <p>板厚比 : 0.15以下</p> <p>辺長比 : 1.3</p> <p>荷重 : 集中荷重</p> <p>板の特性 : 等方性</p> <p>支持条件 : 4辺固定</p> <p>ポアソン比 : 1/6</p>
<p>設計例2 PC斜張橋箱桁の上床版の設計</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p>断面図</p>  </div> <div style="text-align: center;"> <p>モデル化</p>  </div> </div>	<p>実施設計</p> <p>解析手法 : 有限要素法 (3次元要素, 400節点)</p> <p>平板形状 : 矩形</p> <p>板厚 : 一定</p> <p>板厚比 : 0.15以下</p> <p>辺長比 : 1.5</p> <p>荷重 : 部分等分布</p> <p>板の特性 : 直交異方性</p> <p>支持条件 : 4辺固定</p> <p>ポアソン比 : 1/6</p>

#### (6) 設計例

最後にアンケート調査に示された20の設計例の内、PC道路橋における二つの設計例を表-6に示す。この20の設計例では、解析手法として9例が数値図表を、残りの11例が解析プログラムを用いており、解析手法は、ほぼ同数が利用されている。また前記の傾向と同様に、道路橋RC床版等の比較的単純な構造の平板には数値図表が用いられ、鋼床版のような異方性板や変則多角形板等の複雑なパラメーターを有する平板には解析プログラムが用いられている。

表-6に示した二つの設計例は、両者とも辺長比が道路橋示方書の範囲外であるため、Pucherの図表と有限要素法をそれぞれ用いてT荷重に対する床版の設計を行っており、数値図表を適用しやすい設計例であると言える。

#### 4. まとめ

設計業務における平板設計の実状を調査するとともに、現在設計者に使用されている平板数値図表や各種の解析プログラムの問題点を抽出することを目的としてアンケート調査を行った結果、以下の結論を得た。

1. 平板の解析は、使用する数値図表や解析プログラムにより支持条件や荷重のモデル化に制約を受け、実務者は構造のモデル化およびその解析精度に疑問を感じているようである。
2. 平板設計を行う実務者の大半は設計に平板理論が必要であると考え、コンピューター万能の今日においても「身近に使用できて精度のよい数値図表・解析プログラムがあれば利用したい」と考えている。
3. これには、現在利用されている数値図表の他にも数多くの有用な数値図表に関する文献・図書が存在することが明かとなっている[1]ので、今後これらが有効に利用されるよう、数値図表のデータバンク化を進めていく必要がある。

以上より、精度がよく現在の構造物にも適用可能な数値図表を作成すれば、実務設計における数値図表の使用頻度が増加し、入力が煩雑でコストが高つく有限要素法などの解析プログラムを使用しなくてもよいケースが生じてくるように思われる。

しかし一方では、複雑な平板形状、荷重状態等を勘案すれば使用性に富んだ数値図表はできないという指摘や、今日のコンピューター万能時代では数値図表等の近似で施主が納得するとは思えないという小惑ではあるが、現実を見据えた意見もあったことを付記しておく。

本文は、土木学会関西支部平板構造共同研究グループによる「平板構造設計の現状と実務設計者のための数値図表に関する調査研究(代表者 大阪市立大学工学部 小林治俊助教授)」の一部をとりまとめたものである。アンケート調査にご協力を頂いた関係各社、および研究会における有意義な討論と、本文を発表する機会を与えて頂いた研究グループ各位に深く感謝の意を表します。

#### 参考文献

- [1] 土木学会関西支部平板構造共同研究グループ: 平板構造設計の現状と実務設計者のための数値図表に関する調査研究・中間報告書、1992年5月; 同報告書、1993年6月。