

INTERPRETAÇÃO FÍSICA DE DEFORMAÇÃO

João Carlos Chaves ¹

¹ Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – UNESP – Departamento de Cartografia da Faculdade de Ciências e Tecnologia – jcchaves@prudente.unesp.br

RESUMO

A monitoração e a análise de deformação envolvem etapas de otimização, observação, análise geométrica e interpretação física. Este artigo trata da última etapa, e apresenta os métodos estatístico e determinístico, e a análise inversa de deformação.

Palavras-chave: Deformação, Monitoração, Análise.

PHYSICAL INTERPRETATION OF DEFORMATION

ABSTRACT

Deformation monitoring and analysis involve stages of optimization, observation, geometrical analysis and physical interpretation. This paper deals with the last stage, and presents the methods statistical and deterministic, and inverse analysis of deformation.

Keywords: Deformation, Monitoring, Analysis.

1. INTRODUÇÃO

A interpretação física descreve as relações entre os efeitos causativos (forças internas e externas) e as deformações, segundo CHRZANOWSKI & CHEN (1990). A interpretação física de deformações é realizada para determinar o estado físico do corpo deformável, o estado de tensões internas e a relação carga-deformação.

Uma vez que se estabelece a relação carga-deformação, os resultados da interpretação física podem ser utilizados para o desenvolvimento de modelos de predição, de acordo com CHRZANOWSKI et al. (1991). Comparando-se as deformações preditas com os resultados da análise geométrica das deformações, obtém-se um melhor entendimento do mecanismo de deformação.

Há dois métodos para interpretação física da relação carga-deformação, conforme CHEN & YANG (1996): o método estatístico e o método determinístico. Na prática, há dificuldades e incertezas sobre tal relação, portanto, utiliza-se a técnica denominada de análise inversa de deformação.

2. MÉTODO ESTATÍSTICO

O método estatístico analisa as correlações entre as deformações observadas e as cargas observadas (causas interna e externa que produzem deformação), segundo CHEN & YANG (1996).

As correlações são obtidas por análise estatística dos dados levantados, ou seja, primeiro coleta-se as observações (deformação e carga) para uma análise a posteriori. Utiliza-se destas informações na análise de regressão para estabelecer um modelo de predição empírico. A deformação prevista é obtida das cargas medidas no modelo predito. Este método não requer o conhecimento das propriedades dos materiais do corpo deformado.

Tem-se aplicado este método em engenharia, conforme CHRZANOWSKI & CHEN (1990), por exemplo, em deformação de barragem, por várias décadas.

Um bom modelo de predição para este método é obtido somente se as observações das quantidades causativas (cargas) e das deformações forem suficientemente coletadas. Assim, uma grande quantidade de dados é necessária para obter um modelo confiável.

CHEN & YANG (1996) consideram este método menos interessante para o entendimento do mecanismo de deformação.

3. MÉTODO DETERMINÍSTICO

O método determinístico utiliza informação de cargas, de propriedades dos materiais, da geometria do corpo, e das relações tensão-deformação, de acordo com CHEN & YANG (1996).

Este método não requer observações das deformações e utiliza-se das cargas, da geometria e das propriedades físicas do corpo deformado para prever as deformações. A deformação esperada é obtida das cargas medidas.

Tem-se aplicado este método em engenharia civil e de estruturas por algum tempo, segundo CHEN & YANG (1996), mas somente recentemente empregou-se na comunidade de levantamento.

As equações diferenciais utilizadas neste método, relacionando as forças externas com as tensões internas, são solucionadas com o uso de métodos numéricos, por exemplo, o método dos elementos finitos. Com os recursos computacionais atuais, a interpretação de deformações pelo método determinístico, utilizando-se do método dos elementos finitos, tem-se tornado realidade, conforme CHEN (1983).

O conhecimento imperfeito das propriedades dos materiais, o modelo errado do comportamento do material e as aproximações de cálculos são as causas que CHRZANOWSKI & CHEN (1990) argumentam para as exatidões inferiores obtidas nas deformações previstas no método determinístico. CHEN & YANG (1996) corroboram dizendo que as propriedades física e geométrica de um corpo deformado podem não ser completamente conhecidas, dificultando a interpretação física da deformação. Para solucionar este problema, desenvolveu-se um método denominado de análise inversa de deformação.

4. ANÁLISE INVERSA DE DEFORMAÇÃO

A análise inversa é utilizada para estimar algumas propriedades geométrica ou física, ou, as forças atuantes nas deformações observadas, de acordo com CHEN & YANG (1996). Este tipo de análise também pode ser útil no projeto de esquemas de monitoração de deformação.

Considerando-se os deslocamentos medidos nos elementos de um corpo, as observações geométricas (l_g) expressam-se, segundo CHEN & YANG (1996), por:

$$l_g + v_g = H_g d, \quad (1)$$

onde v_g é o vetor dos erros que combinam os erros das observações e os erros do modelo do método dos elementos finitos, e H_g é a correspondente matriz transformação. Para as medidas de deformação (ε) num ponto do elemento, a equação de observação é:

$$\varepsilon + v_e = B_e d_e, \quad (2)$$

onde d_e é o vetor dos deslocamentos dos pontos nodais no elemento, v_e é os erros correspondentes, e B_e é a matriz transformação deformação-deslocamento. A eq.(2) pode ser expressa como:

$$\varepsilon + v_e = B_e H_e d = H_e d, \quad (3)$$

onde H_e é a matriz transformação de d para d_e .

Considerando-se as observações de tensão (σ) num ponto de um elemento (e), a equação de observação é:

$$\sigma + v_\sigma = DB_e d_e, \quad (4)$$

onde v_σ é o termo dos erros, e D é a matriz constitutiva do material. A eq.(4) pode ser expressa como:

$$\sigma + v_\sigma = DB_e H_e d = H_\sigma d. \quad (5)$$

Tem-se da equação de equilíbrio para o objeto investigado que $Kd = f$, onde K é uma matriz em função das propriedades do material e da geometria do projeto, e f é o vetor de carga. Para as observações geométricas e físicas, representadas pelo vetor l , na análise de deformação, estas observações relacionam-se com d por:

$$l + v = Hd = HK^{-1} f, \quad (6)$$

onde v corresponde ao vetor dos erros. A eq.(6) é a equação básica para a análise inversa de deformação.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Uma das etapas relacionadas com medida e análise de deformação é interpretação física, que estabelece a relação entre as causas e a deformações. Quando não se conhece a relação carga-deformação, utiliza-se a análise inversa. Desta maneira, este artigo contribui com a fundamentação sobre o assunto de interesse, proporcionando aos especialistas em Geodésia uma explanação sobre a questão de interpretação física de deformação.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CHEN, Y. (1983). *Analysis of deformation surveys – A generalized method*. Fredericton, Apr. 1983. 262p. Thesis (Ph.D.) – Department of Surveying Engineering Technical Report, n.94, University of New Brunswick, Fredericton, New Brunswick, Canada.
- CHEN, Y.; YANG, X. (1996). Inverse analysis of deformation surveys. *Geomatica*, v.50, n.2, p.183-9.
- CHRZANOWSKI, A.; CHEN, Y. (1990). Deformation monitoring, analysis and prediction - statu report. In: FIG INTERNATIONAL FEDERATION OF SURVEYORS, XVIII CONGRESS, Commission 6, Engineering Surveys., Toronto, Canada, 10-19 June 1990; paper 604.1, p. 83-97.
- CHRZANOWSKI, A.; CHEN, Y.; SECORD, J.M.; SZOSTAK-CHRZANOWSKI, A. (1991). Problems and solutions in the integrated monitoring and analysis of dam deformations. *CISM Journal ACSGC*, v.45, n.4, p.547-60, winter.