

Resumo

As Box Culverts em betão armado enterradas são correntemente utilizadas como passagens hidráulicas de estradas e vias-férreas em que a análise do seu comportamento, em especial sob aterros de elevada altura, é caracterizada por alguma dificuldade devido à complexidade envolvida na avaliação das acções exercidas sobre a estrutura. De facto os mecanismos de interacção solo/estrutura, condicionados sobretudo pelas diferenças substanciais entre a rigidez da estrutura e o material de aterro, proporcionam fenómenos de redistribuição de pressões sobre a estrutura enterrada que geralmente não são contemplados nos métodos simplificados de dimensionamento conduzindo a estruturas desajustadas às acções. As pressões tendem a migrar das zonas mais flexíveis para as zonas mais rígidas da estrutura global. As pressões exercidas também são governadas pela própria deformada da estrutura enterrada, pela existência de interfaces solo/betão e pelos efeitos resultantes do próprio processo construtivo adoptado na execução da obra.

De forma a serem integrados na análise todos estes elementos condicionantes do comportamento das estruturas enterradas recorre-se a um modelo numérico baseado no método dos elementos finitos que tem em consideração o comportamento não linear da estrutura e do solo envolvente, admitindo elementos de interface solo/betão e tendo em conta o processo construtivo utilizado neste tipo de obras. Paralelamente são definidas com rigor as relações constitutivas dos materiais utilizados.

No presente trabalho é efectuado um estudo base concentrado em determinadas condições de referência do sistema Solo/Box Culvert que serve de apoio ao estudo paramétrico realizado, contribuindo para uma comparação e avaliação da importância da alteração de determinados parâmetros de forma isolada e assim detectar os mais condicionantes dos mecanismos de interacção mencionados. Ambos os estudos base e paramétrico são desenvolvidos sobre uma determinada Box Culvert dimensionada para 10 metros de altura de aterro cujas condições de referência dizem respeito, essencialmente, às características mecânicas dos materiais da estrutura, betão e aço, e à rigidez do material de aterro. As análises paramétricas são enquadradas em 4 grupos de análise nos quais se procede à variação das condições do solo envolvente, a

variação das características mecânicas do betão, a alteração das quantidades de armaduras e da geometria da Box Culvert. A interpretação dos resultados obtidos pelos estudos numéricos concentra-se sobretudo ao nível da distribuição das pressões e respectiva evolução sobre as travessas e montantes, ao nível da abertura de fendas em condições de serviço e ao nível do desempenho da estrutura a rotura tendo em conta a altura máxima suportada e o modo de rotura associado. Também no decurso deste trabalho se procede a confrontação dos resultados obtidos com disposições regulamentares e com estudos anteriores, destacando-se os desenvolvidos com base em modelos não lineares elásticos do solo. Por fim são sugeridas algumas propostas de alteração a solução apresentada no estudo base, bem como um procedimento de avaliação da segurança global associado a este tipo de obras tendo em conta uma análise não linear.

Após o desenvolvimento deste trabalho concluiu-se que a utilização de modelos não lineares dos materiais, incluindo o do betão e do solo, contribuem para uma melhor compreensão dos complexos mecanismos de interacção solo/estrutura desenvolvidos neste tipo de obras e a sua utilização no dimensionamento de BC's sob aterros elevados permite alcançar soluções de maior durabilidade, mais seguras e económicas.

Palavras-chave: box culverts, estruturas enterradas, interacção solo/estrutura, análise não linear, aterros elevados.

Abstract

Buried reinforced concrete box culverts are usually used as hydraulic passages of highway and railway embankments wherein the analysis of its behaviour, especially under high embankments, is rather difficult due to the complexity involved in the evaluation of the loadings applied to these structures. In fact the soil/structure interaction mechanisms, particularly conditioned by the substantial difference between the stiffness of the structure and the backfill material, provide redistribution phenomenon's of pressures on the buried structure that are not usually contemplated in the simplified

design methods leading to unadjusted structures to the loadings. The pressures tend to migrate from the most flexible areas to the most rigid areas of the global structure. The generated pressures are governed also by the own deformation of the buried structure, by the soil/concrete interfaces and by the effects of the constructive process adopted in the execution of the work.

In the way that all of the elements that condition the behaviour of the buried structures are integrated in the analysis, it is used a numerical model based on the finite element method that takes into consideration the nonlinear behaviour of the structure and the surrounding soil, admitting soil/concrete interface elements, and the constructive process. At the same time the constitutive laws of the adopted materials are adequately defined.

In the current work it is performed a base study considering certain reference conditions of the soil/box culvert system that serves as support to the accomplished parametric study, contributing to a comparison and evaluation of the importance of varying certain parameters and therefore to the identification of the main influential parameters of the mentioned interaction mechanisms. Both base and parametric studies are developed on a given box culvert geometry designed for a 10 meter height embankment which reference conditions are, essentially, connected with the mechanical characteristics of the structure materials, concrete and steel, and with the stiffness of the backfill material. The parametric analyses are framed in 4 analysis groups that consist in to change the surrounding soil characteristics, the mechanical characteristics of the concrete, the reinforced quantity and the box culvert geometry. The interpretation of the results obtained by the numeric studies is focused mainly on the level of the pressure distribution and respective evolution on the slabs and sidewalls of the box culvert, at the level of the cracks opening in service limit state conditions, and at the level of the structure performance up to failure, admitting the maximum soil height supported and the way of failure. Also, in the course of this work it proceeds to the confrontation of the obtained results with some design specifications and with previous studies, standing out the developed studies based on nonlinear elasticity models of the soil. Finally, some modifications to the solution presented in the base study, as well as an evaluation

procedure of the global safety associated to these type of structures admitting a nonlinear analysis are suggested.

After the development of this work it is concluded that the use of nonlinear material models, of the concrete and of the soil, contribute to a better understanding of the complex soil/structure interaction mechanisms developed in this type of works and their utilization in the box culvert under high embankments design allows to obtain larger durability, safer and economical solutions.

Keywords: box culverts, buried structures, soil/structure interaction, nonlinear analysis, high embankments.