



(19) 대한민국특허청(KR)

(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2022년01월10일

(11) 등록번호 10-2349744

(24) 등록일자 2022년01월06일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

G06F 30/20 (2020.01) E02D 27/34 (2006.01)

G06F 30/13 (2020.01)

(52) CPC특허분류

G06F 30/20 (2020.01)

E02D 27/34 (2013.01)

(21) 출원번호 10-2020-0184638

(22) 출원일자 2020년12월28일

심사청구일자 2020년12월28일

(56) 선행기술조사문헌

김용석, '구조물-지반 상호작용 영향을 고려한 새로운 지반계수 평가방법에 대한 제안', 한국지진 공학회 학술대회 논문집, 2006, pp.327~336

(뒷면에 계속)

(73) 특허권자

연세대학교 산학협력단

서울특별시 서대문구 연세로 50 (신촌동, 연세대학교)

(72) 발명자

정상섭

서울특별시 강남구 광평로19길 15, 106-1104호 (일원동, 목련타운아파트)

송수민

도로명서울특별시 서대문구 신촌로3길 40, 305호

김건우

제주특별자치도 제주시 구남동1길 45

(74) 대리인

김인철

전체 청구항 수 : 총 11 항

심사관 : 이진아

(54) 발명의 명칭 지반조건계수로 산출된 동적 수평지반반력 보정계수를 이용한 말뚝의 동적수평거동 예측시스템

(57) 요약

본 발명은 연산기능을 가진 제어서버가 컴퓨터에 의해 실행되는 말뚝의 동적수평거동 예측시스템으로서, 제어서버는 지반조건정보, 지반의 전단파속도(V_s) 및 기반암의 전단파속도(V_{SR})를 수집하는 입력값 수집부(100); 수집된 지반의 전단파속도(V_s)와 기반암의 전단파속도(V_{SR})의 비율값을 사용하여 지반조건계수(B)를 산출하는 지반조건계수 산출부(200); 및 산출된 지반조건계수를 사용하여 지반의 동적 수평지반반력 보정계수(α)를 산출하는 보정계수 산출부(300)를 포함한다.

대 표 도 - 도1



(52) CPC특허분류

G06F 30/13 (2020.01)

(56) 선행기술조사문헌

KR102151866 B1

KR1020200077364 A

KR1020120059016 A

KR1020030082500 A

KR1020010028792 A

KR100767176 B1

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 2019111827

과제번호 20SCIP-B119955-05

부처명 국토교통부

과제관리(전문)기관명 국토교통과학기술진흥원

연구사업명 국토교통기술연구개발

연구과제명 [통합이지바로][국토부/공동] 대형 연성기초의 성능향상 기술 및 대구경 항타말뚝

지식력 평가기술 개발(5/6)

기 여 율 50/100

과제수행기관명 연세대학교

연구기간 2020.01.01 ~ 2020.12.31

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 1345295664

과제번호 2018R1A6A1A08025348

부처명 과학기술정보통신부

과제관리(전문)기관명 한국연구재단

연구사업명 중점연구소지원사업

연구과제명 (통합Ezbaro)기후변화 적응형 사회기반시설 연구센터기후변화 적응형 사회기반시설

연구센터(3/3,1단계)

기 여 율 50/100

과제수행기관명 연세대학교

연구기간 2020.03.01 ~ 2021.02.28

공지예외적용 : 있음

명세서

청구범위

청구항 1

연산기능을 가진 제어서버가 컴퓨터에 의해 실행되는 말뚝의 동적수평거동 예측시스템으로서, 제어서버는 지반조건정보, 지반의 전단파속도(V_s) 및 기반암의 전단파속도(V_{SR})를 수집하는 입력값 수집부;

수집된 지반의 전단파속도(V_s)와 기반암의 전단파속도(V_{SR})의 비율값을 사용하여 지반조건계수(B)를 산출하는 지반조건계수 산출부; 및

산출된 지반조건계수를 사용하여 지반의 동적 수평지반반력 보정계수(α)를 산출하는 보정계수 산출부를 포함하는 것을 특징으로 하는 지반조건계수로 산출된 동적 수평지반반력 보정계수를 이용한 말뚝의 동적수평거동 예측시스템.

청구항 2

청구항 1에 있어서,

상기 지반조건계수 산출부에서 지반조건계수(B)는 다음 수학적 식 1로 산출되는 것을 특징으로 하는 지반조건계수로 산출된 동적 수평지반반력 보정계수를 이용한 말뚝의 동적수평거동 예측시스템.

[수학적 식 1]

$$B = 314.66 \left(\frac{V_s}{V_{SR}} \right)^{4.31} + 10.9$$

(여기서, B는 지반조건계수이고, V_s 는 지반의 전단파속도이고, V_{SR} 은 기반암의 전단파속도이다.)

청구항 3

청구항 2에 있어서,

상기 보정계수 산출부에서 지반의 동적 수평지반반력 보정계수(α)는 다음의 수학적 식 2 및 수학적 식 3으로 산출되는 것을 특징으로 하는 지반조건계수로 산출된 동적 수평지반반력 보정계수를 이용한 말뚝의 동적수평거동 예측시스템.

[수학적 식 2]

$$\alpha = B \left(\frac{\sigma'}{P_a} \right)^{1.5} + 2$$

[수학적 식 3]

$$\alpha = \left[314.66 \left(\frac{V_s}{V_{SR}} \right)^{4.31} + 10.9 \right] \left(\frac{\sigma'}{P_a} \right)^{1.5} + 2$$

(여기서, α 는 지반의 동적 수평지반반력 보정계수이고, B는 지반조건계수이고, σ' 는 지반의 구속압, P_a 는 대기압이고, V_s 는 지반의 전단파속도이고, V_{SR} 은 기반암의 전단파속도이다.)

청구항 4

청구항 3에 있어서,

제어서버는 산출된 보정계수를 사용하여 초기 기울기(K)를 산출하는 초기 기울기 산출부를 더 구비하며,

상기 초기 기울기 산출부는 상기 수학식 3으로 산출된 보정계수(α)를 다음 수학식 8에 대입하여 수평지반반력 계수(k_h)를 산출하는 것을 특징으로 하는 지반조건계수로 산출된 동적 수평지반반력 보정계수를 이용한 말뚝의 동적수평거동 예측시스템.

[수학식 8]

$$k_h = 1.208 \times \left(2\alpha(1 + \nu)\rho V_s^2 \right)^{1.10} \times D^{-0.310} \times (EI)^{-0.103}$$

(여기서, k_h 는 수평지반반력계수이고, α 는 동적 수평지반반력 보정계수이고, ν 는 말뚝의 포아송비이고, ρ 는 지반의 밀도이고, s 는 지반의 전단파속도(m/s)이고, D 는 말뚝의 직경이고, E 는 말뚝의 탄성계수이고, I 는 말뚝의 단면2차모멘트이다.)

청구항 5

청구항 4에 있어서,

상기 초기 기울기 산출부는 산출된 수평지반반력계수(k_h)를 다음 수학식 6에 대입하여 초기 기울기(K)를 산출하는 것을 특징으로 하는 지반조건계수로 산출된 동적 수평지반반력 보정계수를 이용한 말뚝의 동적수평거동 예측 시스템.

[수학식 6]

$$K = k_h D$$

(여기서, K 는 초기 기울기이고, k_h 는 수평지반반력계수이고, D 는 말뚝의 직경이다.)

청구항 6

연산기능을 가진 제어서버가 컴퓨터에 의해 실행되는 말뚝의 동적수평거동 예측방법으로서, 제어서버는

입력값 수집부가 지반조건정보, 지반의 전단파속도(V_s) 및 기반암의 전단파속도(V_{SR})를 수집하는 S1 단계;

지반조건계수 산출부가 수집된 지반의 전단파속도(V_s)와 기반암의 전단파속도(V_{SR})의 비율값을 사용하여 지반조건계수(B)를 산출하는 S2 단계; 및

보정계수 산출부가 산출된 지반조건계수를 사용하여 지반의 동적 수평지반반력 보정계수(α)를 산출하는 S3 단계를 수행하는 것을 특징으로 하는 지반조건계수로 산출된 동적 수평지반반력 보정계수를 이용한 말뚝의 동적수평거동 예측방법.

청구항 7

청구항 6에 있어서,

S2 단계의 지반조건계수 산출부에서 지반조건계수(B)는 다음 수학식 1로 산출되는 것을 특징으로 하는 지반조건계수로 산출된 동적 수평지반반력 보정계수를 이용한 말뚝의 동적수평거동 예측방법.

[수학식 1]

$$B = 314.66 \left(\frac{V_s}{V_{SR}} \right)^{4.31} + 10.9$$

(여기서, B는 지반조건계수이고, V_s 는 지반의 전단파속도이고, V_{SR} 은 기반암의 전단파속도이다.)

청구항 8

청구항 7에 있어서,

S3 단계의 보정계수 산출부에서 지반의 동적 수평지반반력 보정계수(α)는 다음의 수학식 2 및 수학식 3으로 산출되는 것을 특징으로 하는 지반조건계수로 산출된 동적 수평지반반력 보정계수를 이용한 말뚝의 동적수평거동 예측방법.

[수학식 2]

$$\alpha = B \left(\frac{\sigma'}{P_a} \right)^{1.5} + 2$$

[수학식 3]

$$\alpha = \left[314.66 \left(\frac{V_s}{V_{SR}} \right)^{4.31} + 10.9 \right] \left(\frac{\sigma'}{P_a} \right)^{1.5} + 2$$

(여기서, α 는 지반의 동적 수평지반반력 보정계수이고, B는 지반조건계수이고, σ' 는 지반의 구속압, P_a 는 대기압이고, V_s 는 지반의 전단파속도이고, V_{SR} 은 기반암의 전단파속도이다.)

청구항 9

청구항 8에 있어서,

제어서버는 초기 기울기 산출부가 산출된 보정계수를 사용하여 초기 기울기(K)를 산출하는 S4 단계를 더 수행하며,

S4 단계의 초기 기울기 산출부는 상기 수학식 3으로 산출된 보정계수(α)를 다음 수학식 8에 대입하여 수평지반반력계수(k_h)를 산출하는 것을 특징으로 하는 지반조건계수로 산출된 동적 수평지반반력 보정계수를 이용한 말뚝의 동적수평거동 예측방법.

[수학식 8]

$$k_h = 1.208 \times \left(2\alpha(1+\nu)\rho V_s^2 \right)^{1.10} \times D^{-0.310} \times (EI)^{-0.103}$$

(여기서, k_h 는 수평지반반력계수이고, α 는 동적 수평지반반력 보정계수이고, ν 는 말뚝의 포아송비이고, ρ 는 지반의 밀도이고, s 는 지반의 전단파속도(m/s)이고, D는 말뚝의 직경이고, E는 말뚝의 탄성계수이고, I는 말뚝의 단면2차모멘트이다.)

청구항 10

청구항 9에 있어서,

S4 단계의 초기 기울기 산출부는 산출된 수평지반반력계수(k_h)를 다음 수학식 6에 대입하여 초기 기울기(K)를 산출하는 것을 특징으로 하는 지반조건계수로 산출된 동적 수평지반반력 보정계수를 이용한 말뚝의 동적수평거동 예측방법.

[수학식 6]

$$K = k_h D$$

(여기서, K는 초기 기울기이고, k_h 는 수평지반반력계수이고, D는 말뚝의 직경이다.)

청구항 11

하드웨어와 결합되어, 청구항 6 또는 청구항 10 중 어느 한 항에 따른 동적 수평지반반력 보정계수를 이용한 말뚝의 동적수평거동 예측방법을 컴퓨터에 의해 실행시키기 위하여 컴퓨터가 판독 가능한 기록매체에 저장된 컴퓨터 프로그램.

발명의 설명

기술 분야

- [0001] 본 발명은 말뚝의 동적수평거동 예측시스템 및 예측방법에 관한 것이다. 구체적으로는 지반조건계수로 산출된 동적 수평지반반력 보정계수를 이용한 말뚝의 동적수평거동 예측시스템 및 예측방법에 관한 것이다.

배경 기술

- [0002] 최근 구조물에 피해를 줄 수 있는 규모 5.0 이상의 지진이 울산 해역, 경주 및 포항지역에서 발생하여 내진설계의 중요성이 점차 커지고 있다. 이때 말뚝 기초는 상부 구조물을 지지하며 지반의 거동에 직접적으로 영향을 받기 때문에 내진설계에 있어서 중요한 부분을 차지한다.
- [0003] 일반적으로 말뚝 기초의 내진설계에는 지진하중에 의한 구조물의 관성력을 말뚝 두부에 추가적인 하중으로 작용시켜 해석하는 등가 정적 해석법이 주로 사용되고 있으며, 등가 정적 해석 시 수평하중을 받는 말뚝의 횡방향 거동을 해석하기 위하여 탄성지반반력법과 지반의 비선형거동을 고려할 수 있는 p-y 곡선법(지반반력-변위 곡선법)이 이용되고 있다.
- [0004] 말뚝 두부에 정적인 하중 혹은 반복하중을 가하여 실험적(경험적)으로 산출되었던 기존의 p-y 곡선은 여러 연구에 의해 동적 하중 조건에서 적합하지 않는다고 알려져 있다.
- [0005] 이를 극복하기 위해 동적 하중 조건을 고려한 말뚝의 p-y 곡선에 대한 연구가 진행되고 있고, 말뚝기초의 횡방향(y방향) 거동을 평가하기 위해서는 수평지반반력계수를 산출하여 분석을 수행한다.
- [0006] 시공 설계시 기준이 되는 국내 도로교 설계 기준(2015)에서는 동적 수평지반반력계수를 정적 수평지반반력계수에 보정계수(α) 적용하여 산출할 수 있도록 규정하고 있지만, 기존의 보정계수는 지반물성 및 기타 조건과 관계없이 지진시(동적)는 평상시(정적)에 비해 일률적으로 2배를 적용하고 있는 한계가 있다.

선행기술문헌

특허문헌

- [0007] (특허문헌 0001) (문헌 1) 한국등록특허공보 제10-2151866호 (2020.08.28)

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0008] 본 발명에 따른 지반조건계수로 산출된 동적 수평지반반력 보정계수를 이용한 말뚝의 동적수평거동 예측시스템은 다음과 같은 해결과제를 가진다.
- [0009] 첫째, 지반조건을 고려한 동적수평반력계수 제안을 통해 단독말뚝에서의 수평거동 확인하고자 한다.
- [0010] 둘째, 초기 기울기를 사전에 산출하지 않고, 보정계수를 산출하고자 한다.
- [0011] 셋째, 산출된 보정계수를 사용하여, 사후적으로 초기 기울기를 산출하여 단독말뚝의 정확한 동적 수평거동을 분석하고자 한다.
- [0012] 본 발명의 해결과제는 이상에서 언급한 것들에 한정되지 않으며, 언급되지 아니한 다른 해결과제들은 아래의 기재로부터 당업자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

과제의 해결 수단

[0013] 본 발명은 연산기능을 가진 제어서버가 컴퓨터에 의해 실행되는 말뚝의 동적수평거동 예측시스템으로서, 제어서버는 지반조건정보, 지반의 전단파속도(V_s) 및 기반암의 전단파속도(V_{SR})를 수집하는 입력값 수집부; 수집된 지반의 전단파속도(V_s)와 기반암의 전단파속도(V_{SR})의 비율값을 사용하여 지반조건계수(B)를 산출하는 지반조건계수 산출부; 및 산출된 지반조건계수를 사용하여 지반의 동적 수평지반반력 보정계수(α)를 산출하는 보정계수 산출부를 포함할 수 있다.

[0014] 본 발명에 있어서, 상기 지반조건계수 산출부에서 지반조건계수(B)는 다음 수학적 식 1로 산출될 수 있다.

[0015] [수학적 식 1]

$$B = 314.66 \left(\frac{V_s}{V_{SR}} \right)^{4.31} + 10.9$$

[0016]

(여기서, B는 지반조건계수이고, V_s 는 지반의 전단파속도이고, V_{SR} 은 기반암의 전단파속도이다.)

[0018] 본 발명에 있어서, 상기 보정계수 산출부에서 지반의 동적 수평지반반력 보정계수(α)는 다음의 수학적 식 2 및 수학적 식 3으로 산출될 수 있다.

[0019] [수학적 식 2]

$$\alpha = B \left(\frac{\sigma'}{P_a} \right)^{1.5} + 2$$

[0020]

[0021] [수학적 식 3]

$$\alpha = \left[314.66 \left(\frac{V_s}{V_{SR}} \right)^{4.31} + 10.9 \right] \left(\frac{\sigma'}{P_a} \right)^{1.5} + 2$$

[0022]

(여기서, α 는 지반의 동적 수평지반반력 보정계수이고, B는 지반조건계수이고, σ' 는 지반의 구속압, P_a 는 대기압이고, V_s 는 지반의 전단파속도이고, V_{SR} 은 기반암의 전단파속도이다.)

[0024] 본 발명에 있어서, 제어서버는 산출된 보정계수를 사용하여 초기 기울기(K)를 산출하는 초기 기울기 산출부를 더 구비하며, 상기 초기 기울기 산출부는 상기 수학적 식 3으로 산출된 보정계수(α)를 다음 수학적 식 8에 대입하여 수평지반반력계수(k_h)를 산출할 수 있다.

[0025] [수학적 식 8]

$$k_h = 1.208 \times (2\alpha(1+\nu)\rho V_s^2)^{1.10} \times D^{-0.310} \times (EI)^{-0.103}$$

[0026]

(여기서, k_h 는 수평지반반력계수이고, α 는 동적 수평지반반력 보정계수이고, ν 는 말뚝의 포아송비이고, ρ 는 지반의 밀도이고, s 는 지반의 전단파속도(m/s)이고, D는 말뚝의 직경이고, E는 말뚝의 탄성계수이고, I는 말뚝의 단면2차모멘트이다.)

[0028] 본 발명에 있어서, 상기 초기 기울기 산출부는 산출된 수평지반반력계수(k_h)를 다음 수학적 식 6에 대입하여 초기 기울기(K)를 산출할 수 있다.

[0029] [수학적 식 6]

$$K = k_h D$$

[0030]

- [0031] (여기서, K 는 초기 기울기이고, k_h 는 수평지반반력계수이고, D 는 말뚝의 직경이다.)
- [0032] 본 발명은 연산기능을 가진 제어서버가 컴퓨터에 의해 실행되는 말뚝의 동적수평거동 예측방법으로서, 제어서버는 입력값 수집부가 지반조건정보, 지반의 전단파속도(V_s) 및 기반암의 전단파속도(V_{sr})를 수집하는 S1 단계; 지반조건계수 산출부가 수집된 지반의 전단파속도(V_s)와 기반암의 전단파속도(V_{sr})의 비율값을 사용하여 지반조건계수(B)를 산출하는 S2 단계; 및 보정계수 산출부가 산출된 지반조건계수를 사용하여 지반의 동적 수평지반반력 보정계수(α)를 산출하는 S3 단계를 수행할 수 있다.
- [0033] 본 발명에 있어서, S2 단계의 지반조건계수 산출부에서 지반조건계수(B)는 수학적 식 1로 산출될 수 있다.
- [0034] 본 발명에 있어서, S3 단계의 보정계수 산출부에서 지반의 동적 수평지반반력 보정계수(α)는 수학적 식 2 및 수학적 식 3으로 산출될 수 있다.
- [0035] 본 발명에 있어서, 제어서버는 초기 기울기 산출부가 산출된 보정계수를 사용하여 초기 기울기(K)를 산출하는 S4 단계를 더 수행하며, S4 단계의 초기 기울기 산출부는 수학적 식 3으로 산출된 보정계수(α)를 수학적 식 8에 대입하여 수평지반반력계수(k_h)를 산출할 수 있다.
- [0036] 본 발명에 있어서, S4 단계의 초기 기울기 산출부는 산출된 수평지반반력계수(k_h)를 수학적 식 6에 대입하여 초기 기울기(K)를 산출할 수 있다.
- [0037] 본 발명은 하드웨어와 결합되어, 본 발명에 따른 동적 수평지반반력 보정계수를 이용한 말뚝의 동적수평거동 예측방법을 컴퓨터에 의해 실행시키기 위하여 컴퓨터가 판독 가능한 기록매체에 저장된 컴퓨터 프로그램으로 구현될 수 있다.

발명의 효과

- [0038] 본 발명에 따른 지반조건계수로 산출된 동적 수평지반반력 보정계수를 이용한 말뚝의 동적수평거동 예측시스템은 다음과 같은 효과를 가진다.
- [0039] 첫째, 지반의 전단파속도(V_s) 및 기반암의 전단파속도(V_{sr})의 비율을 사용하여 동적수평반력계수를 산출하는 효과가 있다.
- [0040] 둘째, 동적 p - y 중추곡선을 생성하여 곡선의 초기 기울기(K)를 산출하는 과정없이 보정계수를 산출하는 효과가 있다.
- [0041] 셋째, 산출된 보정계수를 사용하여, 사후적으로 초기 기울기를 산출하여 단독말뚝의 정확한 동적 수평거동을 분석하는 효과가 있다.
- [0042] 본 발명의 효과는 이상에서 언급된 것들에 한정되지 않으며, 언급되지 아니한 다른 효과들은 아래의 기재로부터 당업자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

도면의 간단한 설명

- [0043] 도 1은 본 발명에 따른 지반조건계수로 산출된 동적 수평지반반력 보정계수를 이용한 말뚝의 동적수평거동 예측시스템의 구성도이다.
- 도 2는 본 발명에 따른 지반조건계수로 산출된 동적 수평지반반력 보정계수를 이용한 말뚝의 동적수평거동 예측방법의 순서도이다.
- 도 3은 동적 수평지반반력 보정계수(α)와 구속압과의 관계를 나타내는 그래프이다.
- 도 4는 전단파속도(V_s)에 따른 보정계수 B 분석 결과를 나타내는 그래프이다.
- 도 5 내지 도 8은 지반의 전단파속도(V_s) 별로 기존 동적 수평지반반력 보정계수($\alpha=2$)와의 결과를 비교한 그래프이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0044] 이하, 첨부한 도면을 참조하여, 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자가 용이하게 실시할 수

있도록 본 발명의 실시예를 설명한다. 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자가 용이하게 이해할 수 있는 바와 같이, 후술하는 실시예는 본 발명의 개념과 범위를 벗어나지 않는 한도 내에서 다양한 형태로 변형될 수 있다. 가능한 한 동일하거나 유사한 부분은 도면에서 동일한 도면부호를 사용하여 나타낸다.

- [0045] 본 명세서에서 사용되는 전문용어는 단지 특정 실시예를 언급하기 위한 것이며, 본 발명을 한정하는 것을 의도하지는 않는다. 여기서 사용되는 단수 형태들은 문구들이 이와 명백히 반대의 의미를 나타내지 않는 한 복수 형태들도 포함한다.
- [0046] 본 명세서에서 사용되는 "포함하는"의 의미는 특정 특성, 영역, 정수, 단계, 동작, 요소 및/또는 성분을 구체화하며, 다른 특정 특성, 영역, 정수, 단계, 동작, 요소, 성분 및/또는 군의 존재나 부가를 제외시키는 것은 아니다.
- [0047] 본 명세서에서 사용되는 기술용어 및 과학용어를 포함하는 모든 용어들은 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자가 일반적으로 이해하는 의미와 동일한 의미를 가진다. 사전에 정의된 용어들은 관련기술문헌과 현재 개시된 내용에 부합하는 의미를 가지는 것으로 추가 해석되고, 정의되지 않는 한 이상적이거나 매우 공식적인 의미로 해석되지 않는다.
- [0049] 종래에는 실제 동적수평거동의 영향인자를 고려하지 않은 동적수평지반반력계수를 사용하여 지반조건을 고려하지 않고 일률적으로 2배를 적용하여 사용하였다.
- [0050] 시공 설계시 기준이 되는 국내 도로교 설계 기준(2015)에서는 동적 수평지반반력계수를 정적 수평지반반력계수에 보정계수(α) 적용하여 산출할 수 있도록 규정하고 있다.
- [0051] 그러나, 기존의 보정계수는 아래 표 1과 같이, 지반물성 및 기타 조건과 관계없이 지진시(동적)는 평상시(정적)에 비해 일률적으로 2배를 적용하고 있는 한계가 있다.
- [0052] 표 1은 실무에서 사용하고 있는 설계기준(한국도로교설계기준해설, 2015)의 동적 수평지반반력 보정계수(α)를 적용하는 방법이다.

표 1

다음의 시험방법에 의한 변형계수 E_0 (kN/m ²)	α	
	정적	동적
지름 30cm의 강체 원판에 의한 평판재하시험을 반복시킨 곡선에서 구한 변형계수의 1/2	1	2
보링 공내에서 측정한 변형계수	4	8
공시체의 1축 또는 3축압축시험에서 구한 변형계수	4	8
표준관입시험의 N값에서 $E_0=2,800N$ 으로 추정한 변형계수	1	2

- [0053]
- [0055] 하지만 지반조건을 고려하면 연약하고 단단한 지반의 동적물성을 고려할 수 있으므로 지반조건을 기준으로 영향을 분석하는 것이 가능하다.
- [0057] 본 발명에서는 이를 보완 및 발전시키기 위해 동적 수평지반반력계수(kh)를 다양한 인자를 고려한 식으로 제안하였고, 새로운 동적 수평지반반력계수를 사용하면 더 높은 정확도를 가지며 말뚝의 동적 수평거동을 예측할 수 있다.
- [0059] 일반적으로, 수치해석으로 얻은 동적 p-y 곡선의 최대값들을 연결한 동적 p-y 중추곡선을 생성하고, 곡선의 초기 기울기(K)를 산출하게 된다. 이와 같이 산출된 초기 기울기(K)를 사용하여 새로운 보정계수를 구하는 접근방법도 가능할 것이다.
- [0061] 다만, 본 발명은 초기 기울기(K)를 먼저 산출하지 않고, 지반의 물성 조건 즉 지반의 전단파속도(V_s)와 기반암

의 전단파속도(V_{sr})의 비율을 이용하여 새로운 보정계수를 산출하는 접근방법을 제안하고 있다. 이러한 제안방법은 현장 적용성이 매우 우수한 장점이 있다. 또한, 수치해석을 수행하지 않고도 사후적으로 초기 기울기(K)를 산출하여 단독말뚝의 정확한 동적 수평거동을 분석하는 효과가 있다.

[0063] 이하에서는 도면을 참고하여 본 발명을 설명하고자 한다. 참고로, 도면은 본 발명의 특징을 설명하기 위하여, 일부 과장되게 표현될 수도 있다. 이 경우, 본 명세서의 전 취지에 비추어 해석되는 것이 바람직하다.

[0065] 도 1은 본 발명에 따른 지반조건계수로 산출된 동적 수평지반반력 보정계수를 이용한 말뚝의 동적수평거동 예측시스템의 구성도이다.

[0067] 본 발명은 연산기능을 가진 제어서버가 컴퓨터에 의해 실행되는 말뚝의 동적수평거동 예측시스템으로서, 지반조건계수로 산출된 동적 수평지반반력 보정계수를 이용한 말뚝의 동적수평거동 예측시스템으로 구현될 수 있다.

[0068] 본 발명에 따른 제어서버는 지반조건정보, 지반의 전단파속도(V_s) 및 기반암의 전단파속도(V_{SR})를 수집하는 입력값 수집부(100); 수집된 지반의 전단파속도(V_s)와 기반암의 전단파속도(V_{SR})의 비율값을 사용하여 지반조건계수(B)를 산출하는 지반조건계수 산출부(200); 및 산출된 지반조건계수를 사용하여 지반의 동적 수평지반반력 보정계수(α)를 산출하는 보정계수 산출부(300)를 포함한다.

[0070] 본 발명에 따른 입력값 수집부(100)는 지반조건정보, 지반의 전단파속도(V_s) 및 기반암의 전단파속도(V_{SR})를 수집할 수 있다.

[0071] 본 발명에 따른 입력값 수집부(100)는 현장에서 센서 등의 측정장치를 통해 지반조건정보, 지반의 전단파속도(V_s) 및 기반암의 전단파속도(V_{SR})를 실시간으로 수집할 수 있다. 또한, 제어서버와 유선 또는 무선 네트워크로 연결된 데이터베이스에 수집된 정보를 저장한 후, 필요시 수집하여 사용하는 실시예도 가능할 것이다.

[0073] 본 발명에 따른 지반조건계수 산출부(200)는 수집된 지반의 전단파속도(V_s)와 기반암의 전단파속도(V_{SR})의 비율값을 사용하여 지반조건계수(B)를 산출할 수 있다.

[0074] 지반조건계수 산출부(200)에서 지반조건계수(B)는 다음 수학식 1으로 산출될 수 있다.

수학식 1

$$B = 314.66 \left(\frac{V_s}{V_{SR}} \right)^{4.31} + 10.9$$

[0075]

[0076] 여기서, B 는 지반조건계수이고, V_s 는 지반의 전단파속도이고, V_{SR} 은 기반암의 전단파속도이다.

[0078] 본 발명에 따른 보정계수 산출부(300)는 산출된 지반조건계수를 사용하여 지반의 동적 수평지반반력 보정계수(α)를 산출할 수 있다.

[0079] 보정계수 산출부(300)에서 지반의 동적 수평지반반력 보정계수(α)는 다음의 수학식 2 및 수학식 3으로 산출될 수 있다.

수학식 2

$$\alpha = B \left(\frac{\sigma'}{P_a} \right)^{1.5} + 2$$

[0080]

수학식 3

$$\alpha = \left[314.66 \left(\frac{V_s}{V_{SR}} \right)^{4.31} + 10.9 \right] \left(\frac{\sigma'}{P_a} \right)^{1.5} + 2$$

[0081]

[0082]

여기서, α 는 지반의 동적 수평지반반력 보정계수이고, B는 지반조건계수이고, σ' 는 지반의 구속압, P_a 는 대기압이고, V_s 는 지반의 전단파속도이고, V_{SR} 은 기반암의 전단파속도이다.

[0084]

수학식 2의 식 조건에서 $\left(\frac{\sigma'}{P_a} \right)^{1.5}$ 와 α 의 관계로 그래프를 나타내면 도 3과 같다.

[0085]

도 3에서 지반조건(Soil 1~4)별 지반조건계수(B)는 11.181, 12.705, 13.275, 18.669의 값을 각각 가지게 된다. 이러한 방식으로 산정된 지반조건계수(B)와 지반조건별 전단파속도(V_s)와의 관계를 산출하게 되면 도 4와 같이 나타낼 수 있다. 이는 수학식 3과 같다.

[0087]

수학식 3을 수치해석에 탑재하여 말뚝의 수평변위를 산정한 결과는 도 5 내지 도 8과 같다. 도 5 내지 도 8에 도시된 바와 같이, 높은 정확도를 가지는 FLAC 해석에서 나온 결과와 수학식 3을 통해 나온 결과(Dynamic Prop. & Proposed α)는 말뚝의 수평거동을 유사하게 나타낼 수 있는 것으로 나타났다. 이를 통해, 기존 방식인 동적 수평지반반력 보정계수($\alpha=2$)보다 더 정확하게 말뚝의 수평거동을 나타냄을 확인할 수 있다.

[0089]

한편, 일반적으로 수치해석으로 얻은 동적 p-y 곡선의 최대값들을 연결한 동적 p-y 중추곡선을 생성하고, 곡선의 초기 기울기(K)를 산출하게 된다. 산출된 초기 기울기(K)는 단독말뚝의 다양한 동적 수평거동을 분석하는 데 활용되고 있다.

[0091]

이에, 본 발명은 수학식 3에 의해 산출된 지반의 동적 수평지반반력 보정계수(α)를 활용하여, 사후적으로 초기 기울기(K)를 산출할 수 있다.

[0093]

본 발명에 따른 제어서버는 산출된 보정계수를 사용하여 초기 기울기(K)를 산출하는 초기기울기 산출부(400)를 더 구비할 수 있다.

[0095]

일반적으로 사용하고 있는 지반의 탄성 계수(E_0)와 지반전단파 속도(V_s) 사이의 관계식은 다음 수학식 4,5,6과 같다.

수학식 4

$$E_0 = 2(1 + \nu) G_0$$

[0096]

수학식 5

$$G_0 = \rho V_s^2$$

[0097]

수학식 6

$$K = k_h D$$

[0098]

[0099] 여기서, E_0 는 지반의 탄성 계수이고, ν 는 지반의 포아송비이고, G_0 는 지반의 전단탄성계수(Pa)이고, ρ 는 지반의 밀도이고, V_s 는 지반의 전단파속도(m/s)이고, K 는 p-y곡선에서의 초기 기울기(kN/m³)이고, k_h 는 수평지반반력계수이고, D 는 말뚝의 직경이다.

[0101] 수평지반반력계수(k_h)는 다음 수학식 7로 나타낼 수 있으며, 수학식 7에 수학식 4를 대입하면, 다음 수학식 8로 나타낼 수 있다.

수학식 7

$$k_h = 1.208 \times (\alpha E_0)^{1.10} \times D^{-0.310} \times (EI)^{-0.103}$$

수학식 8

$$k_h = 1.208 \times (2\alpha(1+\nu)\rho V_s^2)^{1.10} \times D^{-0.310} \times (EI)^{-0.103}$$

[0105] 여기서, k_h 는 수평지반반력계수이고, α 는 동적 수평지반반력 보정계수이고, E_0 는 현장시험으로 얻는 지반의 탄성계수이고, D 는 말뚝의 직경이고, E 는 말뚝의 탄성계수이고, I 는 말뚝의 단면2차모멘트이고, ν 는 말뚝의 포아송비이고, ρ 는 지반의 밀도이고, V_s 는 지반의 전단파속도이다.

[0107] 본 발명에 따른 초기 기울기 산출부(400)는 상기 수학식 3으로 산출된 보정계수(α)를 수학식 8에 대입하여 수평지반반력계수(k_h)를 산출할 수 있다.

[0108] [수학식 8]

$$k_h = 1.208 \times (2\alpha(1+\nu)\rho V_s^2)^{1.10} \times D^{-0.310} \times (EI)^{-0.103}$$

[0111] 본 발명에 따른 초기 기울기 산출부(400)는 위와 같이 산출된 수평지반반력계수(k_h)를 수학식 6에 대입하여 초기 기울기(K)를 산출할 수 있다.

[0112] [수학식 6]

$$K = k_h D$$

[0115] 이하에서는, 본 발명이 동적 수평지반반력 보정계수를 이용한 말뚝의 동적수평거동 예측방법으로 구현되는 실시예를 설명하고자 한다.

[0116] 본 발명에 따른 예측방법은 전술한 예측시스템과 발명의 구성이 공통되며 발명의 카테고리가 상이하다. 따라서, 공통되는 설명은 생략하고 주요 구성을 위주로 설명하고자 한다.

[0118] 도 2는 본 발명에 따른 지반조건계수로 산출된 동적 수평지반반력 보정계수를 이용한 말뚝의 동적수평거동 예측방법의 순서도이다.

[0120] 본 발명은 연산기능을 가진 제어서버가 컴퓨터에 의해 실행되는 말뚝의 동적수평거동 예측방법으로서, 제어서버는 입력값 수집부(100)가 지반조건정보, 지반의 전단파속도(V_s) 및 기반암의 전단파속도(V_{sr})를 수집하는 S1 단계; 지반조건계수 산출부(200)가 수집된 지반의 전단파속도(V_s)와 기반암의 전단파속도(V_{sr})의 비율값을 사용하여 지반조건계수(B)를 산출하는 S2 단계; 및 보정계수 산출부(300)가 산출된 지반조건계수를 사용하여 지반의 동적 수평지반반력 보정계수(α)를 산출하는 S3 단계를 수행할 수 있다.

[0122] S2 단계의 지반조건계수 산출부(200)에서 지반조건계수(B)는 상기 수학식 1으로 산출될 수 있다.

- [0123] S3 단계의 보정계수 산출부(300)에서 지반의 동적 수평지반반력 보정계수(α)는 상기 수학식 2 및 수학식 3으로 산출될 수 있다.
- [0124] 본 발명에 따른 제어서버는 초기기울기 산출부(400)가 산출된 보정계수를 사용하여 초기 기울기(K)를 산출하는 S4 단계를 더 수행할 수 있다.
- [0125] S4 단계의 초기 기울기 산출부(400)는 상기 수학식 3으로 산출된 보정계수(α)를 상기 수학식 8에 대입하여 수평지반반력계수(k_h)를 산출할 수 있다.
- [0126] S4 단계의 초기 기울기 산출부(400)는 산출된 수평지반반력계수(k_h)를 상기 수학식 6에 대입하여 초기 기울기(K)를 산출할 수 있다.
- [0128] 한편, 본 발명은 컴퓨터 프로그램으로 구현될 수도 있다. 본 발명은 하드웨어와 결합되어, 본 발명에 따른 동적 수평지반반력 보정계수를 이용한 말뚝의 동적수평거동 예측방법을 컴퓨터에 의해 실행시키기 위하여 컴퓨터가 판독 가능한 기록매체에 저장된 컴퓨터 프로그램으로 구현될 수 있다.
- [0130] 앞서 설명된 본 발명의 실시예에 따른 방법들은 다양한 컴퓨터수단을 통하여 판독 가능한 프로그램 형태로 구현되어 컴퓨터로 판독 가능한 기록매체에 기록될 수 있다. 여기서, 기록매체는 프로그램 명령, 데이터 파일, 데이터구조 등을 단독으로 또는 조합하여 포함할 수 있다. 기록매체에 기록되는 프로그램 명령은 본 발명을 위하여 특별히 설계되고 구성된 것들이거나 컴퓨터 소프트웨어 당업자에게 공지되어 사용 가능한 것일 수도 있다. 예컨대 기록매체는 하드 디스크, 플로피 디스크 및 자기 테이프와 같은 자기 매체(magnetic media), CDROM, DVD와 같은 광 기록 매체(optical media), 플롭티컬 디스크(floptical disk)와 같은 자기-광 매체(magneto-optical media), 및 롬(ROM), 램(RAM), 플래시 메모리 등과 같은 프로그램 명령을 저장하고 수행하도록 특별히 구성된 하드웨어 장치를 포함한다. 프로그램 명령의 예에는 컴파일러에 의해 만들어지는 것과 같은 기계어뿐만 아니라 인터프리터 등을 사용해서 컴퓨터에 의해서 실행될 수 있는 고급 언어를 포함할 수 있다. 이러한 하드웨어 장치는 본 발명의 동작을 수행하기 위해 하나 이상의 소프트웨어 모듈로서 작동하도록 구성될 수 있으며, 그 역도 마찬가지이다.
- [0132] 본 명세서에서 설명되는 실시예와 첨부된 도면은 본 발명에 포함되는 기술적 사상의 일부를 예시적으로 설명하는 것에 불과하다. 따라서, 본 명세서에 개시된 실시예들은 본 발명의 기술적 사상을 한정하기 위한 것이 아니라 설명하기 위한 것이므로, 이러한 실시예에 의하여 본 발명의 기술 사상의 범위가 한정되는 것은 아님은 자명하다. 본 발명의 명세서 및 도면에 포함된 기술적 사상의 범위 내에서 당업자가 용이하게 유추할 수 있는 변형예와 구체적인 실시예는 모두 본 발명의 권리범위에 포함되는 것으로 해석되어야 할 것이다.

부호의 설명

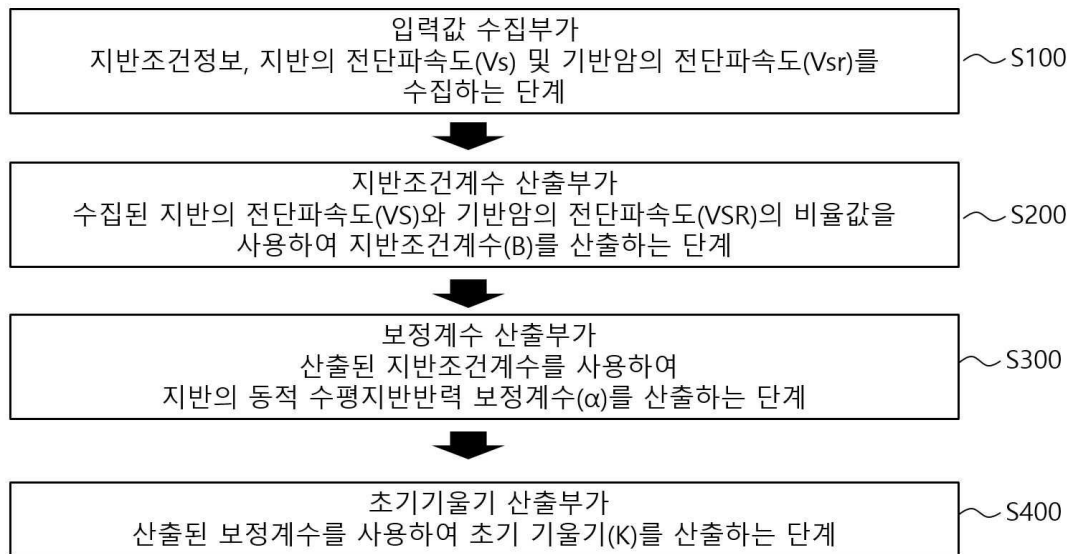
- [0133] 100 : 입력값 수집부
200 : 지반조건계수 산출부
300 : 보정계수 산출부
400 : 초기 기울기 산출부

도면

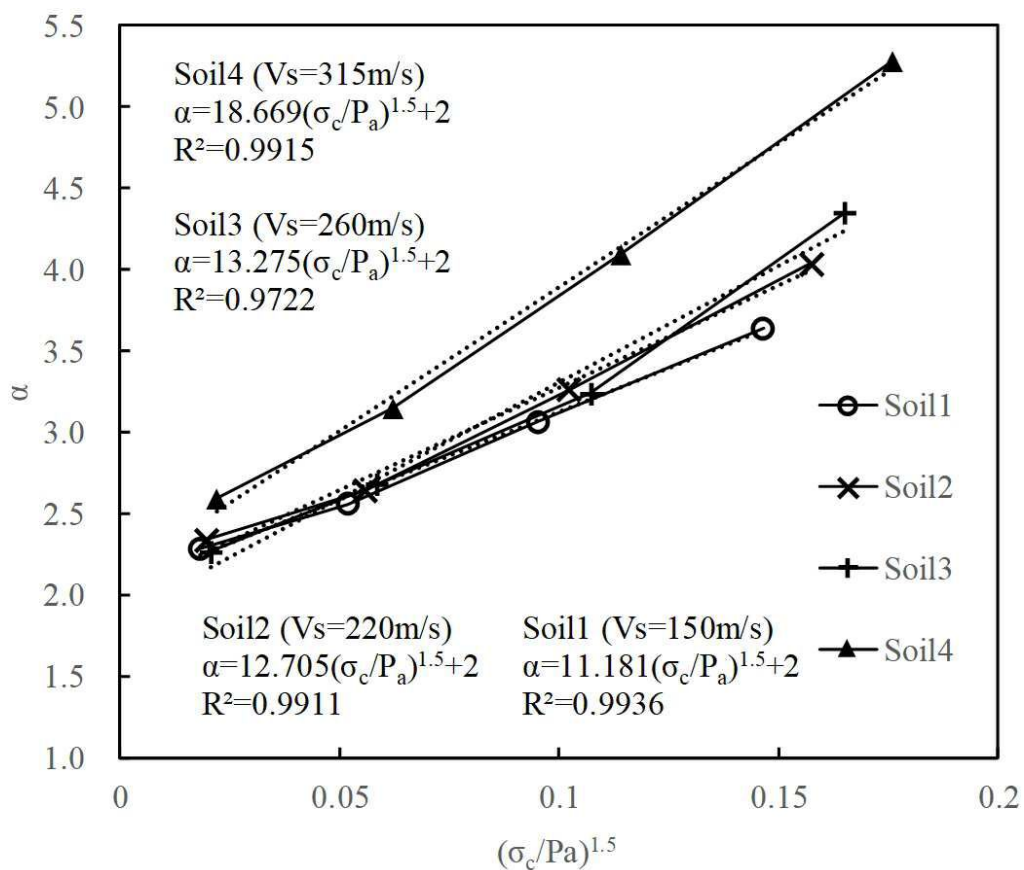
도면1



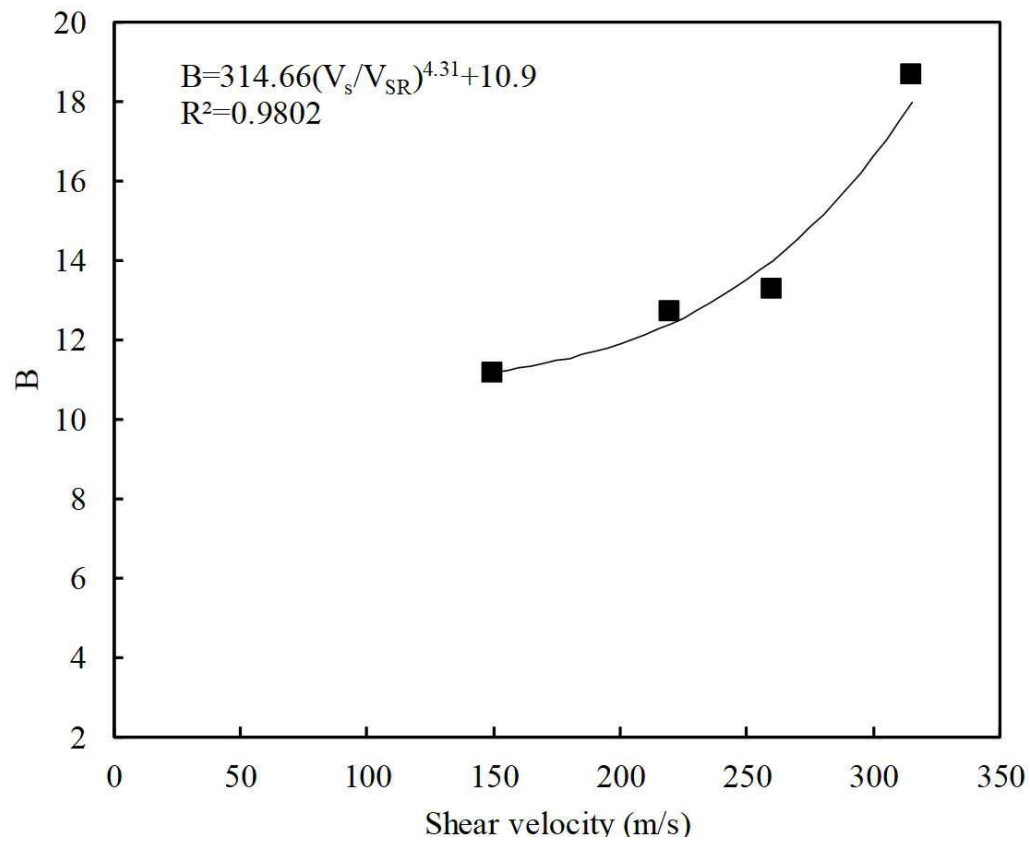
도면2



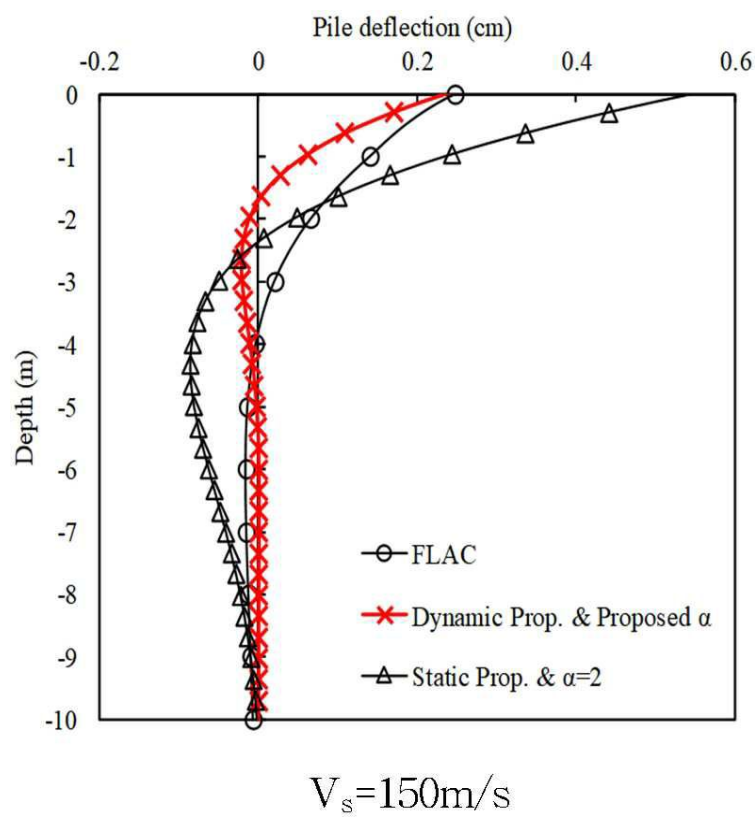
도면3



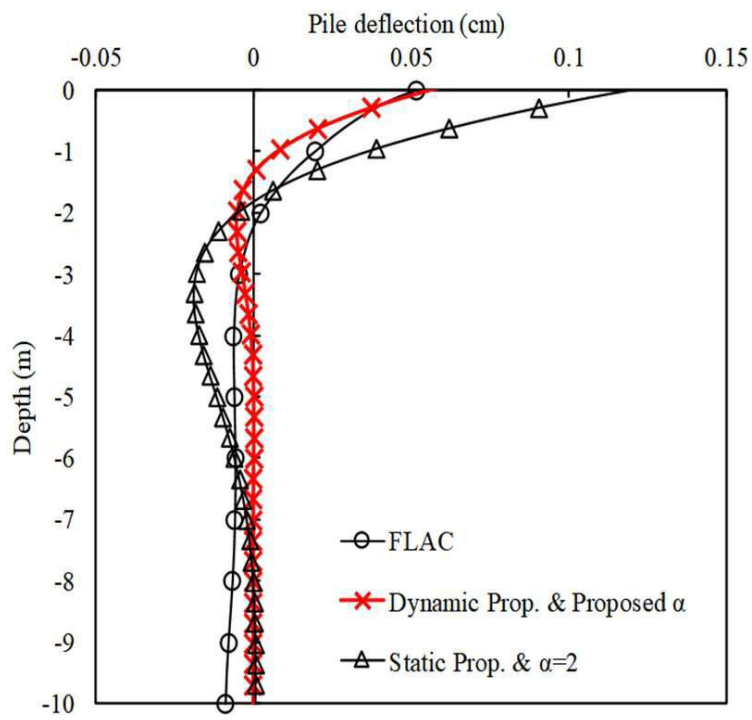
도면4



도면5

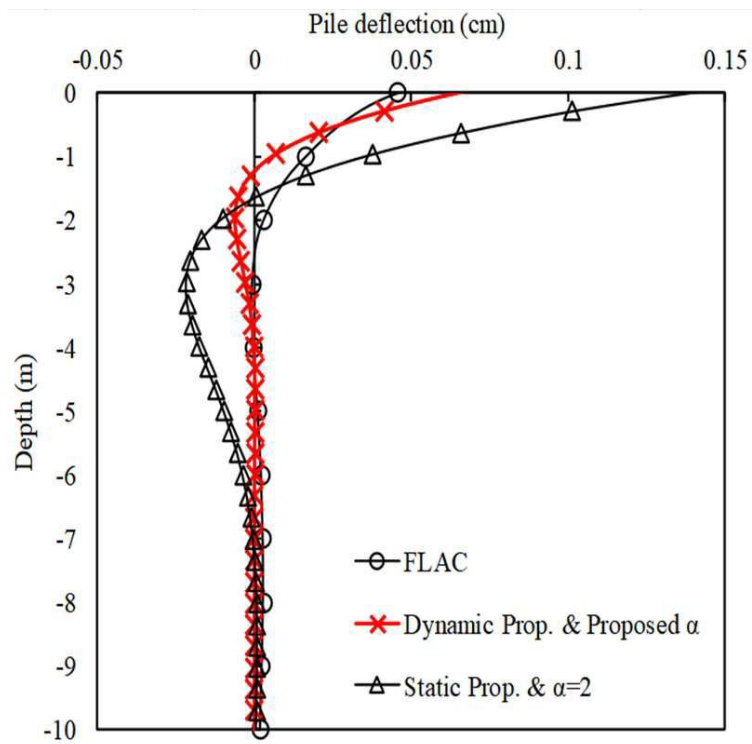


도면6



$$V_s=220\text{m/s}$$

도면7



$$V_s=260\text{m/s}$$

도면8

